



الجيولوجيا العامة

دكتور يحيى محمد أنور

أستاذ ورئيس قسم الجيولوجيا

دكتور أحمد البصيلي

مدرس الجيولوجيا

دكتور فتحي النزهة

مدرس الجيولوجيا

دكتور محمد عبد الوهاب الشناوي

أستاذ الجيولوجيا

دكتور جلال عويس

مدرس الجيولوجيا

كلية العلوم - جامعة الاسكندرية

دار المطبوعات الجديدة

٥ شارع ماركس - المنشية

٨٠٨٠٠٤٨٢٥٥ - الاسكندرية

اچيولوجيا العامة

دكتور مجدي محمد أنور
أستاذ ورئيس قسم البيولوجيا

دكتور أحمد البصيلي
مدرس البيولوجيا

دكتور محمد عبد الوهاب الشناوي
أستاذ البيولوجيا

دكتور فتحي التزلي
مدرس البيولوجيا

دكتور جمال عوليس
مدرس البيولوجيا

كلية العلوم - جامعة الإسكندرية



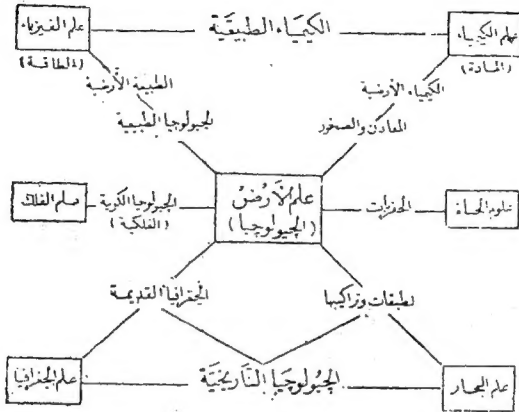
دار الطبوعات الجديدة

مقدمة

(بقلم الشاوي)

يختص علم الجيولوجيا بدراسة الأرض من حيث أصلها ونشأتها ومكوناتها وتركيبها وتاريخ تطورها ، أو بمعنى آخر يبحث هذا العلم كيف بدأت الأرض وكيف تمت وتغيرت تحت تأثير الظروف الطبيعية التي مرت بها ، وكيف أصبحت كما نراها في وقتنا الحالى .

يحمل لفظ الجيولوجيا معناه من أصل يوناني مشتق من كلمتين هما « Ge » ومعناها أرض ، « Logos » ومعناها علم . ويشمل علم الأرض أو الجيولوجيا فروعا كثيرة مرتبطة ببعضها البعض ، يختص كل منها بدراسة معينة متكاملة للدراسات المستفيضة في الفروع الأخرى ، ويحتاج الجيولوجى أو دارس الجيولوجيا إلى الإلمام بكثير من العلوم الأساسية مثل علم الكيمياء الذى يستعين به لمعرفة حقيقة مكونات الأرض ، وعلم الفيزياء (الطبيعة) الذى يساعد على تفهم التغيرات الطبيعية التى مرت بها الأرض ، وعلوم الحياة (الحيوان والنبات) التى تنبر الطريق لمعرفة نوع الحياة التى كانت سائدة فى عصر من العصور الجيولوجية الغابرة ؛ ويقيد علم البحار فى التعرف على كيفية تكوين الرواسب الطبقة ، ويساهم علم الجغرافيا فى الاستنتاجات الخاصة بتوزيع الأرض والبحار فى قديم الأزل ، ويرشد علم الفلك إلى أصل الأرض ووضعها فى الكون بالنسبة للكواكب الأخرى . ويوضح الشكل التخطيطى التالى أهم فروع علم الأرض وصلتها بالعلوم الأساسية الأخرى .



بدأ التفكير في علم الأرض من قديم الأزل ، ولكن ما من شك أن الإغريق هم أول من حللوا مصباح هذا العلم وأضافوا الطريق أمام المفكرين والباحثين . والمعروف أن « هومر - قبل ٩٠٠ ق . م . Homer » هو أول من فكر جدياً في شكل الأرض واعتبرها شبه قرص مبطط تحيط به مياه « النهر المحيط - river Oceanus » ، تبعه فلاسفة مدرسة فيثاغورث Pythagoras ثم ارستطاليس ٣٨٢ - ٣٢٢ ق . م . Aristotell الذي استطاع أن يبرهن بأدلة علمية واضحة على كروية الأرض ، ثم هيرودوتس Herodotus الذي لاحظ الشبه الكبير بين بعض البقايا وأغياكل المغطية للحفريات التي وجدها في الصخور وبهض الأصداف والمحارات للكائنات الحية في البحر واستنتج من ذلك أن الأماكن التي توجد

بها مثل هذه البقايا الحيوانية القديمة لا بد وأن تكون قد غمرتها مياه البحر في وقت من الأوقات ، كما أنه لاحظ كمية الطمي التي يرسبها النيل سنوياً ، ومن مآثر قوله « مصر هبة النيل » .

وفي العهد المظلمة التي تلت تحطم الإمبراطورية الرومانية ، تمكن المترجمون العرب من حفظ هذا التراث من الضياع ، وحمل المفكرون العرب شعلة العلوم من جديد (إخوان الصفا - القرن العاشر) حتى بدأ عهد النهضة الذي ازدهرت فيه كل العلوم ، وقد أنبت كل هذه الأفكار والآراء والنظريات القديمة وأثمرت ودانت قطوفها فيما يختص بالعلوم الجيولوجية في بداية القرن الثامن عشر . ومن بين العلماء الذين اهتموا بالدراسات الجيولوجية : الجيولوجي الاسكتلندي جيمس هانن ١٧٢٦ - ١٧٩٧ James Hutton ، وكانت نظريته « الحاضر هو مفتاح الماضي » وأن القوى التي تعمل حالياً على سطح الأرض كانت كذلك تعمل دائماً باستمرار خلال جزء كبير من التاريخ الجيولوجي « كما استطاع هانن توضيح أن الحجر الجيري والحجر الرملي والحجر الطيني الصلجي يمكن أن يتكون ويترسب بفعل انبساط . وفي علم المعادن والتعدين ظهر العالم الألماني أبراهام فيرنر (١٧٥٠ - ١٨١٧ - جامعة فرايبورج) Abraham Werner . وفي فرنسا نهضت دراسة الحفريات على يد العالم جان دي لامارك (١٧٤٤ - ١٨٢٩) Jean de Lamarck أما وليامز سميث (١٧٦٩ - ١٨٣٩ - إنجلترا) William Smith فتد أسس علم طبقات الأرض وتمكن من ترتيب الصخور الطبقي (الرسوبية) ترتيباً تاريخياً بالإستعانة بمحتوياتها الحفرية ، وذلك عن طريق المشاهدات الحقلية الواقعية . وبظهور داروين Darwin (١٨٠٨ - ١٨٨٣ ، إنجلترا)

ودراسته العميقة المستفيضة ونظرياته في التطور ، فتح الباب على مصراعيه
لتفهم العلوم وكيف تم التطور البطيء التدريجي حسب قوانين طبيعية محدودة
في كل من العالم العضوي وغير العضوي على مر الأحقاب الجيولوجية
الطويلة المتعاقبة .

بعد هذه المقدمة التاريخية الموجزة لنوع علم الأرض وقبل البدء في دراسة
ماهية الأرض وجب الإلمام بموجز عن أصل الأرض وكيفية نشأتها ، وأهم
النظريات التي تفسر طريقة تكوينها ونشوتها .

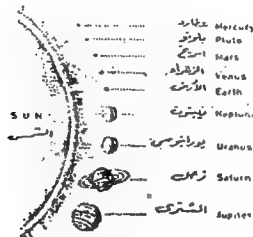
الباب الأول

نشأة الأرض ومكوناتها

(بقلم الشاوي)

الأرض هي أحد الكواكب الطبيعية التسعة التي تدور حول الشمس ؛
وتتكون الشمس (الكوكب الأم) وتواكبها التسعة - بما فيها كوكبنا هذا
«الأرض» - والأقمار التابعة لكل من هذه الكواكب التسعة وكذلك ما يقرب
من ألف كوكب صغير وكثير من النيازك والمذنبات ، ما يعرف بالمجموعة
الشمسية . ويمكن تقسيم أفراد المجموعة الشمسية ، حسب الحجم وكذلك
حالة مكونات كل منها ، إلى مجموعتين :

١) مجموعة الكواكب الصغيرة وتشمل عطارد Mercury ، الزهرة Venus ،
الأرض Earth ، المريخ Mars ، وطبيعة كل منها صلبة بصفة عامة
كطبيعة الأرض .



(شكل ١) توزيع التسعة بين أجسام الكواكب التسعة والشمس

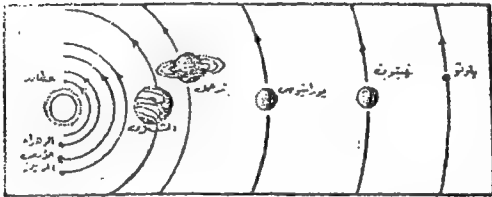
(ب) مجموعة الكواكب الكبيرة وتشمل المشتري Jupiter ، زحل Saturn ، يورانيوس Uranus ، نبتون Neptune وهذه الكواكب كبيرة الحجم وفي حالة غازية مثل الشمس (شكل ١٤٤) .

أما الكوكب التاسع بلوتو Pluto ، وقد تم اكتشافه حديثاً ، فهو أبعد الكواكب عن الشمس وهو أقرب في حجمه إلى حجم الكواكب الصغيرة ويظهر أنه في حجم الأرض تقريباً ويعتقد أنه في حالة صلبة .

ولكل من هذه الكواكب مدار دائري تقريباً يدور فيه حول الشمس حسب نظام معين ثابت . وتعنى كلمة الأرض بعفة عامة الكوكب الذى نعيش عليه بما يشمله من يابسة وماء وما يحيط به من هواء . وتحل الأرض مكانة وسطى بين الكواكب الأخرى من حيث حجمها وبعدها عن الشمس ، فهي مثلاً أكبر الكواكب الصغيرة إذ يبلغ قطرها ٨٥٠٠٠ ميلاً فيما يبلغ قطر عطارد ٣٥٠٠٠ ميلاً والمريخ ٤٢٠٠ ميلاً أما الكواكب الكبيرة فاتها تفوق الأرض حجماً إذ يبلغ قطر كوكب المشتري ٨٨٥٩٠٠ ميل وزحل ٨٧١٠٠ ميل . وتبعد الأرض عن الشمس بمقدار ٩٣٠٠٠٠٠٠ ميل بينما يقدر بعد عطارد عن الشمس بمسافة ٣٦٠٠٠٠٠٠ ميل وهذه المسافة ، وبعد المشتري بخمسة أضعاف هذه المسافة ، وأما نبتون فإنه يبعد عن الشمس بمسافة تساوى قدر بعد الأرض عن الشمس ثلاثين مرة .

ويبلغ الوزن النوعى للأرض ما يقرب من ٥.٥ ونقل هذه القيمة قليلاً بالنسبة لعطارد والزهرة والمريخ ، بينما تقل كثيراً بالنسبة للكواكب

الكبيرة (اكبر حجمها وحالتها الغازية) ، ويبلغ الوزن النوعي للكوكب زحل ما يقرب من ٠.٧٢. وهو أقل وزن نوعي بالنسبة لجميع الكواكب الأخرى.



(شكل ٢)

بين البعد والحجم النسبي بين الكواكب التسعة في مداراتها حول الشمس

نشأة الكرة الأرضية

تقدم كثير من علماء الجيولوجيا والفلك والرياضة والطبيعة بنظريات مغلطة عن نشأة الأرض. وقد يصعب الوصول إلى تفسير موحد في هذا الشأن حيث أن كل النظريات تعتمد أساساً على الظروف والقوانين الطبيعية كما نعرفها حالياً. ويعلم الله كيف كانت ظروف الطبيعة في الأزمان السحيقة منذ بلايين السنين عندما نشأت الأرض. ومع ذلك لم يأل العلماء جهداً في وضع نظرياتهم - ولو أنها افتراضية - في محاولة الوصول إلى تفسير مقبول ومقبول لنشأة الأرض. وما هو جدير بالذكر حقاً أن تخفق كل النظريات على أن الشئ هو « أم الكواكب »، وإن اختلفت النظريات فيما بينها في تفسير طريقة النشأة أو كيفية ميلاد

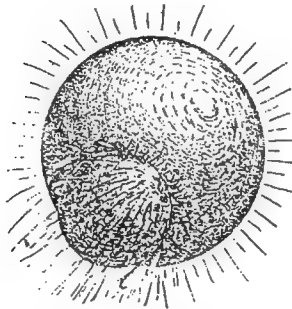
الأرض . والسؤال الجائر الآن : من كان الالب ؟ كيف تم هذا الحدث ؟
أى ميلاد الأرض .

كانت أولى المحاولات للإجابة على هذا السؤال الفامض منذ قرنين
عندما تقدم العالم الفرنسى جورج لويس ليكليرك « كومت دى بفون »

Georges . Louis Leclerc (Comet de Buffon) بدراساته فى التاريخ
الطبيعى (فى ٤ مجلدات) ، وصف فيها تكوين الكواكب بأنها نتيجة
إصطدام غتيف بين الشمس وأحد الأجرام السماوية الضخمة (شكل ٣)
والتي أطلق عليها بفون لفظ كومت Comet ومعناها نازك (ولم
تكن صفات النيازك معروفة فى ذلك الوقت ولكن كان بفون
يعنى بهذا اللفظ جرمًا سماويًا ضخم الحجم) . ومن الطبيعى أن ينتج عن
هذا الاصطدام بين الأم والنجم الزائر إلتصعال وتطابر كتل مختلفة من
كل من الابوين كما اتخذت المجموعة كلها حركة دوران سريعة ، ومن
المحتمل أن بعض الكتل الناتجة قد فقدت إلى الأبد أو هربت بينما ظلت
بعض الكتل الأخرى - تحت تأثير قوة الجذب بينها وبين الأم - فى
حركتها المستمرة حول الشمس فى هيئة كواكب مستقلة ، وهذا يفسر
بصفة عامة دوزان كل الكواكب فى نفس المستوى تقريبًا وفى الاتجاه
العام لدوران الشمس حول محورها .

كانت هذه النظرية موضع نقد شديد من جانب العالم الرياضى
الفرنسى بيير سيمون ل. ماركيه دى لابلان - ١٧٩٦ - بعد وفاة بفون
بناية أعوانه (Pierre Simon Marquis de Laplace) ، وكان وجه

النقد ينصب على أن المواد المتطايرة التي انفصلت عن الشمس نتيجة الاصطدام لا بد وأن تدور في مدار يضاوى كبير الاستطالة ، بينما تتخذ الكواكب - كما نعرفها حاليا - مدارات دائرية تقريبا .



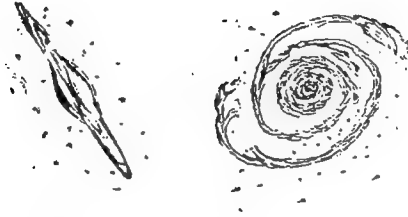
(شكل ٣) بين فكرة استمداد الشمس ونجم سائر (عن بفون)

تقدم لابلاس بنظرية جديدة — النظرية السديمية أو الحلقيية Nebular (Ring) Hypothesis ، وقد تبنى لابلاس نظريته هذه عن أفكار وأراء الفيلسوف الألماني إيمانويل كانت Immanuel Kant في دراساته لتطليل مشاهدته حلقات حول الكوكب زحل Saturn

افترض لابلاس أن الشمس كانت عبارة عن كتلة كروية ضخمة من الغازات ذات درجة حرارة عالية جدا وذات قطر أكبر من قطر المجموعة الشمسية بأكملها . كما افترض أن الشمس كانت في حركة دائرية

منذ البداية وأن اتجاه دورانها هو نفس اتجاه دوران الكواكب الحالية .
وقد كان مضطرا لهذا الافتراض حيث أنه انتقد فكرة حركة الدوران
الناتجة من الاصطدام بين الشمس والنجم الزائر في نظرية بفون . وأساس
النظرية السديمية أن الشمس بمفردها هي التي أنتجت كل كواكب المجموعة
الشمسية نتيجة لتفجار داخلي قس أدى إلى إتصال الأجزاء الخارجية
منها على هيئة حلقات ، بعدما تعرضت هذه الكتلة السديمية Nebula
أي الكتلة الشمسية للانكماش التدريجي نتيجة فقدان جزء كبير من حرارتها
عن طريق الإشعاع ، وتبع ذلك زيادة في سرعة حركتها الدائرية . ونعصور
لابلاس إتصال حلقات غازية من الكتلة السديمية حينما تعادلت القوة الطاردة
المركزية مع قوة الجذب تاحية المركز ، ثم اتخذت هذه الحلقات حركة
الدوران في مدار دائري حول الأم ، وباتصال حلقة تلو الأخرى كانت
تزداد سرعة الكتلة الأصلية وفقدان جراتها وإنكماشها حتى أمكن اتصال
تبع حلقات كونت كل منها كوكبا مستقلا يدور في مدار دائري حول
الجسم المركزي « الشمس » وكان أول الكواكب وأبعدها عن
المركز هو بلوتو وكانت الأرض هي سابع كوكب ينفصل عن
أمه الشمس .

وتكررت نفس العملية بالنسبة لكل من هذه الكواكب وانفصلت
منها حلقة أو أكثر مكونة بذلك توابع Satellites أو ما تسمى بالاقمار Moons
كما حدث أن أصبح القمر تابعا للأرض . وباستمرار فقدان الحرارة
والإنكماش وتغير ظروف الضغط بدأ تكثف الغازات الحارة مكونة بذلك
التلاف المائي على سطح الأرض (باعتباره أحد الكواكب التسعة) بينما تجمعت



(شكل ٤) يبين منظران لكتلة سديمية كما تظهر في مجموعة
اللب الأكبر ، وتتكون من عدة بلايين من النجوم

بعض الغازات الأخرى التي لم تتكثف وكونت الغلاف الجوي ، وتجمد الجزء
الباقى مكونا الغلاف اليابس .

بعد عمر طويل - ما يقرب من قرن من الزمان - تعرضت هذه النظرية
لنقد شديد من العلماء في الرياضة والطبيعة والفلك - فليس هناك سبب معقول
لإفترض أن الإنكماش في كتلة دائرة يؤدي فقط إلى عدد صغير نسبيا من
حلقات غازية سميكة لتكون الكواكب التسعة ، وكان من المتوقع أو المحتمل
أن يتكون عدد ضخم جداً من الحلقات الرقيقة تنتشر وتغلا المستوى الذي تدور
فيه الكواكب . وحتى لو قبل أو صبح هذا الافتراض فكيف يمكن البرهنة على
أن كلا من هذه الحلقات الغازية قد تجمدت على هيئة أجسام كروية ؟ وقد
برهن عالم الطبيعة الإنجليزي جيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell
في دراساته على الحلقة التي تحيط بالكوكب زحل Saturn أن مثل هذه
الحلقات الغازية غير مستقرة بل أنها تنجزأ إلى عدد كبير من الأجسام الصغيرة

وتنتشر في مدار دائري بدلا من أن تتحد لتكون كوكبا واحدا. فشلا استطاع كليرك أن يحسب أن الحلقة الغازية التي افترض لابلاس أنها كوت كوكب المشتري Jupiter قد تنهم - إن وجدت - وتجزأ إلى خمسين جسيما منفصلا تنتشر في مدار المشتري دون أن تظهر أى ميل للاتحاد مع بعضها. والمقبة الرئيسية في نظرية لابلاس هي توزيع الحركة بين الكواكب والشمس نفسها، فقد حسب الفلكيون أنه من غير الممكن أن تتمكن مثل هذه الحلقات المنفصلة من الشمس بقوة الطرد المركزية من التقاط هذه النسبة العالية من مجموع الحركة الدورانية Rotational momentum للمجموعة الشمسية. هذا بجانب صعوبات أخرى، فشلا افترضه أن التبريد كان تدريجيا غير محتمل حيث تدل المعلومات الجيولوجية على أن فترات جليدية كانت تتخلل فترات دافئة أثناء نمو الأرض، أما درجة الحرارة التي افترض لابلاس أنها مكتسبة منذ البداية فيمكن إيعازها إلى النشاط الانشعاعي والتفاعلات الكيميائية في باطن الأرض (باعتبارها أحد الكواكب).

عندما تحطمت النظرية السديمية للابلاس عاد العلماء إلى التفكير في نظرية بقون* نظرية نشأة الكواكب من أبوين نتيجة إصطدامها، وبعد تنقيح وتعديل وتطوير للفكرة الأساسية لهذه النظرية أدت دراسات بعض العلماء في أوائل القرن الحالى - كل على حدة وفي نفس الوقت تقريبا - إلى الوصول إلى نظريات مقاربة إلى حد ما ومتفقة أساسا مع فكرة بقون.

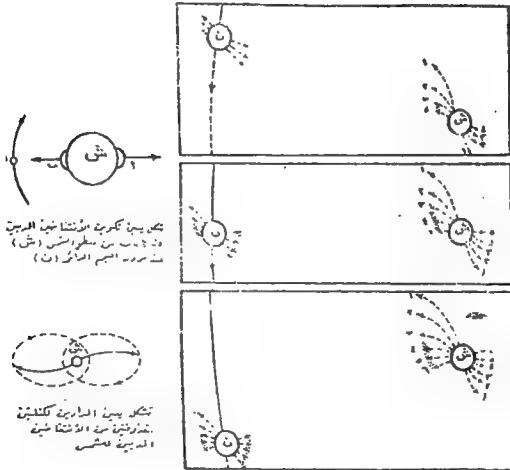
ومن بين هؤلاء العلماء: العالمان توماس تشيمبرلين Thomas Chamberlin وهو جيولوجى أمريكى، والعالم الفلكى الأمريكى فورست مولتون Forest Molton في شيكاغو. وكذلك العالمان الانجليزيان: الفلكى سيد

جيمس جيفز Sir James Jeans وعالم الطبيعة الأراضية هارولد جيفري .
Harold Jeffrey .

وتتفق كل من نظريتي تشمبرلين - مولتون ، وجيفز - جيفري في أن الكواكب نشأت نتيجة زبارة جضم كوني غريب للام - الشمس - ولكنهم لم يقبلوا بل أمموا فكرة التصادم المباشر بين الأيون . وبذلك عدت نظرية بقون على أناس أن كواكب المجموعة الشمسية تكونت نتيجة حدوث إنتفاخ مدى ضخم لسطح الشمس نشأ من قوة الجذب الهائلة الصادرة من نجم سائح فائق السرعة أثناء مروره بالقرب من الشمس . والسبب في افتراض حدوث الانتفاخ المدى الجذبى بين الأيون بدلا من التصادم المباشر هو أن فكرة تقارب نجمين أثناء حركتهما أكبر احتمالا من فكرة تصادمها .

نظرية الكويكبات (تشمبرلين - مولتون) Planetesimal Hypothesis
افترض هذان العالمان أن الكتلة الشمسية الفضخمة كانت تتكون فيما مضى من جزيئات منفصلة سميت كويكبات Planetesimals يدور كل منها في مدار خاص به حول كتلة صغرى مركزية - هي التي كوفت الشمس فيما بعد - تتوسط هذه الكتلة الشمسية الفضخمة ، وقد كان مدار وحركة هذه الكويكبات يعتمد على مدى سرعتها وقوة التجاذب المشتركة بينها . كما افترضا كذلك أن نجما كبيرا سائحا في مداره سائرا بسرعة فائقة كان قد مر بالقرب من الشمس منذ عدد قليل من بلايين السنين ، وأن حجم هذا النجم الزائر لابد وأنه كان من الضخامة بدرجة سمحت له بإحداث قوة جذب كافية سببت حدوث إنتفاخات مدية على سطح الشمس - في كل

من الاتجاه المقابل للنجم الزائر والاتجاه المضاده — هذا علاوة على أن الشمس كانت قد تعرضت لقوى فاذفة أدت إلى إلتعجارات هيفة في اتجاه الانفاخات المدية (شكل ٥). وتوضح بعض الحقائق عن كتلة وتكوين



(شكل ٥) بين نظام تكون الكواكب من مواد شمسية متطايرة نتيجة قوة جذب من نجم زائر - النقط بين المواد الشمسية المقذوفة - الخطوط المتقطعة بين إنحراف مسار المواد الشمسية المقذوفة تحت تأثير جاذبية النجم الزائر - المواد المتطايرة هي كويكبات (الشميرلين - مولتون) أو مجرات غازية (جيتز - جيفرى).

الكواكب - بما فيها الشمس - أنه حتى لو كان النجم الزائر في أقرب وضع له بالنسبة للشمس على مسافة عدة بلايين من الأميال فإن قوة الجذب المركزية في الشمس تسببها لا بد وأن تضعف للدرجة بحيث فيها حدوث مثل هذه الانفجارات في الشمس في اتجاه النجم الزائر والاتجاه المضاد له ، وكانت الاضطرابات والانفجارات تبدأ وقت اقتراب النجم من الشمس وتصل إلى أوجها عند أقرب وضع لها ، ثم تلتشى عندما يعتمد النجم ساجما في الفضاء . ويغير وضع النجم الزائر في مداره بالنسبة للشمس ، تتابع القذائف من الشمس وتطايرت في اتجاهات مختلفة وإنتشرت في مستوى مسار النجم الأب . ومانن شك أن بعض هذه القذائف سقطت ثانية على سطح الشمس ، ولكن حركة الشمس والانحراف الناتج من قوة جذب النجم الزائر قد أدت ، إلى دوران الكتل المقذوفة في مدارات اهليلجية أى يضاوية حول الشمس .

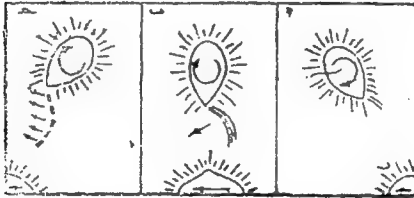
وقد فسر تليمولين - مولون إنتظام المواد الشمية المقذوفة في أجسام كوكبية معينة واتخاذها حركة دورانية في مدارات دائرية - كما نراها حاليا - بأن افترضوا وجود نويات كوكبية كبيرة الحجم نسبيا استطاعت أن تجذب إليها الأجسام الشمية المقذوفة والتي تصغرها حجما ، وقد أطلقوا على هذه الجسيمات إسم كويكبات *Planetesimals* ، ويتساقط هذه الكويكبات على أى من النويات الكوكبية إزداد حجم الأخيرة وإستطاعت أن تجذب وتكتسح كل الكويكبات الأخرى التي تصادف طريقها وتترضى مدارها ، وقد ساعد تساقط هذه الكويكبات على أى من النويات الكوكبية - بجانب الزيادة في الحجم - على إنتظام دورانها في مدارات دائرية .

وعلى أساس نظرية الكويكبات يمكن تصور بداية تاريخ الارض أنها نتجت عن إتصال كتلة من الشبس عند مرور النجم الزائر . وكانت هذه الكتلة في بداية الامر عبارة عن حشد كثيف من أجسام سائلة وصلبة نتجت من تكثف بعض المواد الشمسية المذذوفة ، ثم تركز هذا الحشد الكثيف في كتلة متماسكة وذلك بارتطام جزيئات هذا الحشد بعضها وتلاشى طاقتها الكامنة وترسبها نحو المركز ، وبذلك تكونت النواة الكوكبية للارض ، ثم أخذت هذه النواة في النمو بتجميع كويكبات جديدة ونتج عن ذلك إزدياد في الحجم وقوة الجاذبية والضغط والحرارة في الداخل مما أدى إلى إنطلاق بعض الغازات مثل بخار الماء والأكسجين وتكوين غلاف غازي ، تكاثف بعضه ليكون الغلاف المائي وبقى البعض الآخر ليكون الغلاف الجوي للارض ، وبازدياد البرودة تجمد السطح الخارجي للارض وتجمد مكونا بذلك منخفضات واسعة غمرتها المياه الناتجة من تكاثف بخار الماء ونشأت بذلك مواقع المحيطات والبحار الأولى .

اعترضت نظرية الكويكبات بعض الصعوبات ، منها أنه - حسب النظرية - ليس من الضروري إفتراض أن الارض (باعتبارها أحد الكواكب) كانت قد دمرت بحالة إنصهار ، علماً بأن هناك أدلة واضحة تثبت أن الارض كانت في حالة إنصهار مما أدى إلى تكوين نواة معدنية مركزية خفيفة الوزن التوى يحيط بها طبقات متراكمة من مواد مختلفة أقل كثافة من سابقتها . والإعراض الأهم هو أن تساقط الكويكبات على النويات الكوكبية لا يمتثل أن يؤدي إلى انتظام الكواكب في مدارات دائرية ، بل على العكس فإن إحتيال ارتطام مثل هذه الكويكبات ببعضها —

إذا كانت قد وجدت - قد أدى إلى تجزئتها وتحولها إلى غازات نتيجة للحرارة الناشئة من الارتظام .

وبسبب هذه الإعراضات تقدم سير جيمس جينز و هارولد جيفرى بنظرية جديدة هي النظرية الغازية *Gas Hypothesis* إقترض . هذا العالمان وجود مجرات طويلة من مواد غازية متوهجة كإشعاعات تحيط بالشمس (شكل ٦) وأن الكواكب نشأت نتيجة انقسام هذه



(شكل ٦) يبين فكرة نظرية (جينز) تكوين المجرات الغازية التي نشأت من الشمس ثم تنجز إلى قطع تحرف وتتخذ مدار النجم الزائر

المجرات الغازية إلى قطع كروية تحت تأثير قوة الجذب الناتجة من نجم زائر مر بالقرب من الشمس - تماما كما يحدث غيط رفيع من الماء يتساقط من صنوبر أن يفصل في نقط - وقد أدى انصاف هذه الكريات الغازية إلى حرمانها من حرارة الام (الشمس) وتعرضت بذلك لبرودة الفراغ فلم تستطع هذه الكريات الشمسية أن تحتفظ بتوهجها وحرارتها ، وأدى ذلك إلى انكماشها ، وإقصاء المواد المكونة لهذه الكريات الشمسية إلى مكوناتها المختلفة - كما يحدث تماما لسيكة معدنية في

فرن - حيث ترسبت المواد الثفيلة في المنطقة المركزية للكريات الشمسية بينما طفت المواد الخفيفة نسبيا (السيليكات) ونجحت على السطح لتكون القشرة الخارجية للأوكس.

وهذه النظرية الغازية - تفسر التعليل الوحيد لكيفية استدارة مدار الكواكب الذي بدأ في أول الأمر اهليلجيا كبير الاستطالة ، وذلك بافتراض أن التبراغ الذي كانت تتحرك فيه الكريات الشمسية ، أو الكواكب في بداية الأمر ، كان مشحونا بوسط مقاوم متجانس الانتشار في هيئة غلاف غازي يحيط بنسفس (شكل ٧) وأن هذا الغلاف الغازي بدوره في نفس الاتجاه العام لحركة دوران الكواكب . ووجود مثل هذا الغلاف الغازي كبير



(شكل ٧) يوضح كيفية إتخاذ الكواكب (وكذلك السيارات)
الاتجاه العام لتحركة .

الاحتمال حيث أن بعض مواد المجرات الغازية التي جذبها النجم السائر بعيداً عن الشمس لم تكن قد تكاثفت وظلت منتشرة حول الشمس

فلو أن مدار الكواكب كان أصلاً دائرياً فإن هذا الغلاف الغازي لا يكاد يؤثر على حركة الكواكب لأن كلاً من الكواكب وجزئيات الغاز تنحرف في مدارات متوازية . ولكن المدار الأصلي الإهليلجي للكواكب سبب تحركها عبر مسار الغلاف الغازي وأدى ذلك إلى ما يشبه ظاهرة سبارة تتعرج في طريقها عبر جلبة سباق دائرية (شكل ٧) ، ومثل هذه الحركة في وسط الغلاف الغازي الذي يحيط بالشمس أدى إلى ارتباط الكواكب بجزئيات الغاز المقاومة مما اضطر الكواكب في النهاية إلى أن تجد طريقها في المدار الأقل مقاومة وهو المدار الدائري للغلاف الغازي .

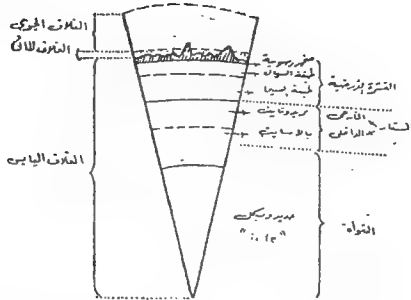
ومن الحقائق المعروفة عن حركة الشمس على محورها في نفس المستوى ونفس الانحياض لحركة الكواكب يمكن استنتاج أن هذه الحركة قد نتجت تحت تأثير التقارب بين الشمس والنجم الزائر ، ويمكن أن تكون قد نتجت عن احتكاك موجة المد المضخمة التي اجتاحت سطح الشمس وقت مرور النجم الزائر بها . أو أنها حدثت بعد ذلك عند انطلاق أجزاء من المواد الشمسية وبدأت في الدوران تحت تأثير جذب النجم الزائر ، ثم سقوطها مرة أخرى على الأم (الشمس) مما أدت إلى دورانها كذلك . وبعد دراسة عميقة استطاع جيمري أن يبرهن على أن كلاً من هذين السببين لا يمكن أن يؤدي إلى حركة دوران الشمس سرعتها الحالية ، ولذلك فقد اقترح جيمري أن النجم الزائر كان أقرب للشمس بدرجة سمحت له بملامسة سطح الكتلة الشمسية (كمرشاه نحتك

بليس لتتلفه) مما أدى إلى خدشها وتطاير أجزاء المادة الشمسية واتخاذها حركة دوران الأب ، وهذا الاقتراح - إن صح - يرد بنا إلى أساس نظرية بنون (نظرية الاصطدام) .

وقد تقدم حديثا كتب من العلماء نورا وامريه سكا (من بينهم ألفين ١٩٤٢ ، Alfven ، بيرلاج ١٩٤٠ ، نيهار ١٩٤١ ، Ter Haar ، فايسزاکر ١٩٤٤ ، Weiszacker ، وWh) ، صاحب نظرية السحاب الغازي st cloud hypotnesis ، بنظريات جديدة تعتمد أساسا على تكثف الغازات من غلاف عظيم الانتشار يحيط بالشمس . وباستخدام المعلومة السابقة في الطبيعة وما يحصل بها من مغناطيسية وتكثيف الأنقرة الحارة ذات الترددات ودرجات الحرارة المتفاوتة ، تبلورت أفكار جديدة وتفسيرات معقدة رت سليمة لحواشي الكواكب وتوابعها . ويعتقد أنه من ١٠٠ سنة الانقراض في نشأة الأرض ونظور المجموعة الشمسية إلى الاتجاه " الطاقة المدمرة التي تقدم بها (كانت Kant) ولا بليس .

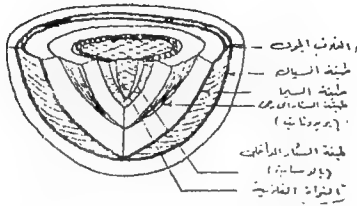
اغلفة الكرة الأرضية

من المعروف أن الكرة الأرضية تتكون من مواد مختلفة ، فمنها ما هو في حالة غازية ومنها ما هو في حالة سائلة أو صلبة . وبسيط الدراسة يمكن التعرف على ثلاثة أجزاء رئيسية طبيعية لكونها الأرض كما يلي (شكل ٨ ، ٩) .



(شكل ٨) قطاع تخطيطى يوضح أغلفة الكرة الأرضية ، والطبقات المتراكمة المكونة للغلاف الصخري .

أولاً) الغلاف الجوى Atmosphere : هو هذا الجزء الغازى الذى يحيط بالكرة الأرضية إحاطة تامة ويمتد على الأقل إلى ما يقرب من ٢٥٠ ميلا من سطح الأرض ، ونسبة وزنه إلى وزن الأرض تعادل ١ : ٢٠٠٠٠٠٠ وتقل كثافة هذا الغلاف الغازى كلما ابتعدنا عن سطح الأرض ، ويبلغ متوسط ضغطه عن سطح البحر ما يعادل ١٤٠٧ رطل على البوصة المربعة (= ٧٦ سم / زئبق) . ويتكون هذا الغلاف من خليط من النيتروجين والأكسجين بنسبة ٤ : ١ تقريبا (٧٩ : ٢٠ و ٦ / ١) ، هذا بالإضافة إلى كميات ضئيلة من الأرجون والأمونيا وغازات كبريتية وبخار الماء وثانى أكسيد الكربون بجانب بعض الأبخرة الأخرى والأتربة الركامية . وقد أمكن التعرف على ثلاث نطاقات رئيسية فى الغلاف الجوى هي ، من أسفل



(شكل ٩) يبين الطبقات المكونة للغلاف المصغرى

إلى أعلى : تروپوسفر Troposphere ، ستراتوسفير Stratosphere ،
أيونوسفير Ionosphere ، وذلك على أساس نوع ونسبة الغازات السائدة ،
وإتجاه حركة هذه الغازات ، ومتوسط درجة الحرارة ومعدل تغيرها في كل
من هذه النطاقات .

ومن المعتقد أن تركيب الغلاف الجوى كان مختلفا في العصور الجيولوجية
القديمة عن تركيبه الحالى وخاصة في نسبة الأكسجين وثانى أكسيد الكربون،
ويمكن الاستدلال على هذا الاختلاف في التركيب من النسبة العالية لعنصر
الأكسجين الداخلى في تكوين صخور القشرة الأرضية وكذلك من كمية
الرواسب الفحمية التى تكونت من الغابات الكثيفة التى كانت منتشرة في تلك
الآزمنة الغابرة في كثير من أنحاء الأرض .

ولهذا الغلاف الجوى أهميته الجيولوجية من حيث نشاطه الكيميائى
والطبيعى الذى يؤثر تأثيراً فعالاً على سطح الأرض ، إذ يؤكد الأكسجين
المعادن والمصخور التى تكون القشرة الأرضية مكوناً بذلك مواد جديدة ، كما
أن ثانى أكسيد الكربون المتقابل للذوبان فى الماء يكسبه قدرة ظاهرة على إذابة

بعض الصخور وخاصة الجيرية منها . أما عن النشاط الطبيعي لهذا الغلاف فيكون التنويه إلى عمل الرياح الذي يساعد في تفتيت صخور القشرة الأرضية وكذلك حملها ونقلها من مكان لآخر ، ويمكن تخيص العمل الجيولوجي لهذا الغلاف الجوي في أنه عمل مدام للسطح الخارجى للقشرة الأرضية في وقت نشاطه في مكان ما في حين أنه عمل بنائى في نفس الوقت في مكان آخر .

ثانياً (الغلاف المائى Hydrosphere : يتكون هذا الغلاف من مياه المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار أى أنه يشغل كل مجارى المياه السطحية ، وكذلك المياه الموجودة تحت سطح الأرض والمعروفة بالمياه الجوفية التي تتخلل الصخور المسامية وتتسرب خلال الشقوق والفجوات في الصخور الأخرى إلى عمق قد يصل إلى آلاف الأقدام من سطح الأرض .

ويغطى الغلاف المائى ما يقرب من ثلاثة أرباع سطح الكرة الأرضية ، ويختلف نوع المياه من مكان لآخر في هذا الغلاف وذلك تبعاً لكمية الأملاح الذائبة فيه ، فترداد درجة الملوحة في البحار المفتوحة عنها في البحار المغلقة وهذه أكبر بقليل من درجة الملوحة في المحيطات وذلك حسب كمية كلوريد الصوديوم الموجودة في كل منها ، في حين أن مياه الأنهار عذبة إذا ما خلت من هذا الملح ولكن أحياناً تكون في حالة وسط بين الملوحة والعذوبة (دلعة أو ماسخة Brackish) وخاصة عند تقابل مياه الأنهار والبحار عند المصببات ، ويحتوى ماء البحر على كميات متفاوتة من الأملاح الذائبة ، منها كلوريد الصوديوم وكلوريد الماغنسيوم ، ومن الكبريتات : كبريتات الماغنسيوم والكالسيوم والبوتاسيوم ثم كربونات الكالسيوم . والمعروف أن

كربونات الكالسيوم الموجوده في مياه البحار ذات أهمية جيولوجية خاصة رغم أن كيتها لا تتعدى ٠.٣٤٪ من كمية الأملاح الأخرى ، فقد تستعملها الحيوانات البحرية لبناء المياكل العظيمة الخاصة بها من أصداف و عمارات أو أغلفة وقشور لها ، وتؤدي هذه المياكل العظيمة - بعد موت الكائنات الحية الحاوية لها - إلى تكوين الطبقات الرسوبية الجيرية بتركتها فوق بعضها في قاع البحار والمحيطات

ولا يمكن إهمال الأثر الجيولوجي للغلاف المائي على سطح القشرة الأرضية بل وماتحت السطح ، فالياء عامل هدام إذ أنها تفتت الصخور وتحملها من مكان لآخر مثل تأثير الأمطار والسيول الجارفة والأمواج الصاخبة على سطح القشرة الأرضية ، ومن ناحية أخرى فإن لهذا الغلاف عمل بنائي إذ أن المياه تحمل وتنقل المواد التي سبقت أن هدمتها وكسرتها وفتتها ، ثم ترسبها في أماكن أخرى وبذلك تحتفظ القوى الطبيعية دائماً بالتوازن في عملها وتأثيرها على سطح القشرة الأرضية وكذلك في باطنها .

يختلف عمق الغلاف المائي السطحي من مكان لآخر اختلافاً واضحاً ، وقد قدر أعظم عمق - عرف حتى الآن - لهذا الغلاف بستة أميال تقريباً بالقرب من إحدى جزائر الفيلين . وتتكون أعماق الأماكن لهذا الغلاف في شكل أحواض ضيقة طويلة تسمى أعماق Deepس وغالباً ما توجد بالقرب من القارات أو حول أقواس الجزر وخاصة في المحيطين الهادي والهندي .

ثالثاً) الغلاف الصخري Lithosphere : يشمل هذا الغلاف الجزء الصخري الصلب (وكذلك المنطقة المركزية الرخوة ؟) من الأرض ، ويحصر الغلاف المائي ما يقرب من ثلاثة أرباع هذه اليابسة فلا يظهر منها إلا ما يكون القارات فقط .

وقد أدت الدراسات الجيولوجية والطبيعية إلى أن اليابسة تتكون من طبقات متراكمة Concentric shells تحيط بخواة مركزية Central core وأن هذه الطبقات تتكون من مواد مختلفة ويحتمل أن تكون في حالات عديدة مختلفة ، ويمكن تقسيم الغلاف الصخري إلى :-

١ - القشرة الأرضية Earth crust : وتتكون من طبقتين متراكبتين تتميز الطبقة الخارجية منها بصخور خفيفة نسبياً أى ذات وزن نوعى صغير - مثل صخور الجرانيت - كما أنها تشمل الصخور الرسوبية ، وأهم مكونات صخور هذه الطبقة هى السيليكات (أكسيد السيليكون) والالومينا (أكسيد الألومنيوم) ولذلك يطلق عليها اسم سيال Sial نسبة إلى الأحرف الأولى من مكوناتها الأساسية . ويتراوح سمك هذه الطبقة بين ١٠-١٥ كيلو متراً ، ويبلغ متوسط الوزن النوعى لصخورها ٢.٧ ، وغالباً ما تكون فاتحة اللون لزيادة نسبة السيليكات والالومينا بها (أكثر من ٦٠ ٪) .

أما الطبقة الداخلية من القشرة الأرضية فتتكون عادة من صخور داكنة اللون ، ثقيلة نسبياً إذ يبلغ وزنها النوعى ما بين ٢.٩ ، ٣.٤ وذلك لتفصى نسبة السيليكات حيث تقل بكثير عن سابقتها وتتراوح ما بين ٤٠ ، ٥٠ ٪ من مجموع مكونات هذه الطبقة ، وتلى السيليكات فى الأهمية فى هذه الطبقة مركبات الماغنسيوم (الماغنيزيا) ولذلك تعرف بطبقة سينا Sina ، ويتراوح سمك الطبقة الداخلية للقشرة الأرضية ما بين ٢٠ إلى ٥٠ كيلو متراً .

وقد استنتج العلماء أن الأجزاء السطحية من القارات تتكون من طبقة السيل أى الصخور الجرانيتية وما يعادلها ، وكذلك الصخور الرسوبية الطبقة ، بينما تتكون جذور هذه القارات من السيل الثقيلة الوزن . وتتكون صخور السيل

كذلك تاع المحيطات كما هو الحال في المحيط الهادئ حيث لا توجد طبقة الببال ولكن توجد هذه الأخيرة في طبقة رقيقة في قيعان المحيطات الأخرى .

(٢) الستار Mantle : يتكون هذه النطاق الذي يلي القشرة الأرضية من صخور أكثر قتامة في اللون وأكبر كثافة وقاعدية من صخور السبا وذلك لاحتوائها على نسبة أكبر من المركبات القاعدية (المركبات الحديدية والماغنيسية). ويوجد هذا النطاق على عمق يتراوح ما بين ٣٠، ٤٠ كيلومترا من سطح اليابسة ويقدر سمكها بما يقرب من ثلاثة آلاف كيلو متر (٢٩٠٠ كيلو متر) .

ويمكن التعرف على طبقتين مختلفتين في نطاق الستار ، تفارقان في التركيب الكيميائي للصخور المكونة لكل منها ، حيث تزداد القاعدية وبالتالي قتامة اللون والكثافة من طبقة الستار الخارجية (طبقة البريدوتيت Peridotite) (من أنواع الصخور فوق القاعدية Ultrabasic وتزيد كثافتها عن صخور السبا) وتعرف طبقة الستار الداخلية التي تتكون غالباً من خليط من المعادن القاعدية وفلز الحديد باسم بالاسيت Pallasite .

(٣) النواة Core : وقد يسمى أحيانا وبصفة عامة جوف الأرض Centrosphere وقد حار العلماء في استنتاج حالة هذا الجزء المركزي للأرض وخصائصه بين كونه نواة صلبة أو لزجة نصف شفاقة أو سائلة ذائبة أو في حالة غازية ، ولكن أجمعت الآراء على ثقله (حيث يصل وزنه النوعى الى ١٠) وشدة حرارته وقوة الضغط عليه .

وبالاستعانة بدراسة موجات الزلازل والمغناطيسية الأرضية ودراسة الشهب والنيازك أمكن استنتاج أن هذا الجزء من الكرة الأرضية يتكون أساساً من الحديد والنيكل وعلى ذلك فقد يسمى (نيفة ? Nife) . وبمساب بسيط يمكن

الاستدلال على الوزن النوعي لهذا الجزء من الأرض ، فقد أمكن للفيزيقيين حساب الوزن النوعي للأرض مقدراً : بأن الأرض تزن ستة آلاف مليون طن تقريباً (598×10^{21} جرام) وحيث أن حجم الأرض 1.083×10^{21} سم^٣ فإن كثافتها النوعية = 5.5 ره في المتوسط ، ومن المعروف أن كثافة القشرة الأرضية تتراوح بين $2.7 - 2.9$ لليال ، $2.9 - 3.4$ للسيا كما أن كثافة الغلاف المائي تزيد بقليل عن واحد ، وبعملية حسابية يتضح أن كثافة جوف الأرض كبيرة تتراوح بين $4.8 - 11$ ومتوسط هذه الكثافة أكبر بقليل من كثافة الحديد وأقل من كثافة النيكل .

١١- مكونات الأساسية للغلاف الصخري

بعد دراسات مستفيضه وتحليلات كيميائية لمجموعات من أنواع الصخور من مناطق متباعدة توصل الباحثون إلى معرفة متوسط التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية وقد وجد أن العناصر الثمانية الآتية : الأكسجين ، السيليكون ، الألمنيوم ، الحديد ، الكالسيوم ، البوتاسيوم ، البوتاسيوم ، والمغنسيوم ، هي أكثر العناصر إنتشاراً وتكوّناً ما يقرب من 98% من العناصر الداخلة في تكوين القشرة الأرضية . ووجد كذلك أن نسبة عنصر الأكسجين تقرب من 47% من العناصر الثمانية الأساسية ، وأن نسبة السيليكون تصل إلى 28% تقريباً ، وأن هذه النسبة تقل بالتدرج من الألمنيوم (8% تقريباً) إلى المغنسيوم الذي يتواجد بنسبة 2% . ويبين الجدول التالي متوسط النسب المتروية للعناصر الأساسية المكونة للقشرة الأرضية .

التركيب في صورة أكسيد			التركيب في صورة عناصر		
النسبة المئوية	الرمز	الأكسيد	النسبة المئوية	الرمز	العنصر
—	—	—	٤٦.٧١	ا	الأكسجين
٥٩.٠٧	س ا	سيليك	٢٧.٦٩	س	السيليكون
١٥.٢٢	لو ا	ألومينا	٨.٠٧	لو	الالومونيوم
٦.٨١	ح ا - ح ا	أكسيد حديد	٥.٠٥	ح	الحديد
٥.١٠	كا	جص	٣.٦٥	كا	الكالسيوم
٣.٧١	ص ا	صودا	٢.٧٥	ص	الصوديوم
٣.١١	بو ا	بوتاس	٢.٥٨	بو	البوتاسيوم
٣.٤٥	ما ا	ماغنيزيا	٢.٠٨	ما	الماغنسيوم
٩٦.٤٧	...	...	٩٨.٥٨	مجموع العناصر الثمانية	
٣.٥٣	...	...	١.٤٢	بقية العناصر الأخرى	

تتعدد العناصر السبعة مع عنصر الأكسجين مكونة الأكاسيد المختلفة. وتعتبر هذه الأكاسيد هي الوحدات الكيميائية الأساسية التي تكون الصخور. ويتجدد أكسيد السيليكون (سيليكاس ا) الذي يتفاعل كأنه حامض مع الأكاسيد القلوية (قاعدة) مثل الألومينا وأكاسيد الحديد، الجير، الصودا، البوتاسا وماغنيزيا، وينتج عن هذا الاتحاد الكيميائي ما يعرف بالسيليكات. وقد تتحد السيليكات مع أكثر من أكسيد، فتعزى وتكون سيليكات ثنائية أو ثلاثية أو معقدة التركيب. وتعرف هذه المركبات الكيميائية التي تكونت بفعل العوامل الطبيعية نتيجة اتحاد السيليكات مع الأكاسيد القاعدية، والتي تكونت الصخور المتخلفة في القشرة الأرضية، باسم معادن السيليكات. وهناك عدد من كيميائية التركيب من

عناصر أخرى غير السليكا وتتكون بفعل العوامل الطبيعية ، فمثلا يتخذ عنصر الحديد والأكسجين في الطبيعة ويكون أكسيد الحديد Fe_2O_3 ، هو معدن الهيماتيت Hematite . وقد يتكون المعدن من عنصر واحد فقط ويسمى حينئذ بالمعدن العنصري Native mineral مثل الذهب والاس والجرافيت .

تعريف المعدن : المعدن هو كل مادة صلبة غير عضوية ذات تركيب كيميائي ثابت ونظام بلوري مميز وتتكون بفعل العوامل الطبيعية .

يتضح من التعريف أن المواد العضوية ، أي المواد الناتجة من أصل حيواني أو نباتي مثل زيت البترول والفحم ، لا ينطبق عليها تعريف المعدن ولو أنها تتكون بفعل العوامل الطبيعية . ويعني التركيب الكيميائي الثابت للمعدن أن النسبة بين ذرات أو أيونات أو مجموعات العناصر المكونة له لا بد وأن تكون ثابتة (وإذا كان هناك تغير فيكون في أضيق الحدود الممكنة - مثلا بسبب إحلال ذرة عنصر مكان ذرة عنصر آخر مكافئ له) ، وأن يحض هذا المركب لقوانين النسب الثابتة والمضاعفة بمعنى أنه يمكن التعبير عنه بقانون كيميائي ، فمثلا معدن الهيماتيت يتكون من عنصرى الحديد والأكسجين بنسبة ثابتة وهى ذرتين من الحديد لكل ثلاث ذرات من الأكسجين Fe_2O_3 ، وكذلك معدن الكوارتز Quartz يتكون من اتحاد ذرة واحدة من السيليكون وذرتين من الأكسجين وبذلك يصبح له القانون الكيميائي SiO_2 . ويتكون معدن أوليفين Olivine من عناصر الحديد والمغنسيوم والسيليكون والأكسجين وله القانون العام (Mg, Fe) ، في مثل هذا القانون توجد نسبة ثابتة بين مجموع ذرات الحديد والمغنسيوم كوحدة وبين السليكا كوحدة . أجرى معنى اتحاد وحدتين من

(ما، ح) مع وحدة من 10^4 ، ويوضح هذا القانون أيضا أنه يمكن إحلال ذرة من الماغنسيوم محل ذرة من الحديد دون أن يحدث أى تغيير يتعارض مع قانون النسب الناجمة .

ينتج عن التركيب الكيميائى ذو النسب الناجمة نظام بلورى مميز، أى ترتيب أيونات أو ذرات أو مجموعة ذرات العناصر المكونة له ترتيبا هندسيا داخليا يميزات في اتجاهات ثلاث، وغالبا ما يؤدي هذا الترتيب الذرى الداخلى إلى تكوين مستويات أو سطوح تحدد الشكل الخارجى للمادة الصلبة والنسبة توصف حينئذ بأن لها شكلا بلوريا مميزا يتبع نظاما بلوريا أى تركيبا ذريا معينا .

يستتج من ذلك أنه لا يمكن معرفة التركيب الكيميائى فقط لتحديد أو تمييز معدن عن آخر، فقد يتفق معدنان أو أكثر في التركيب الكيميائى ولكنها يختلفان في كثير من الصفات الطبيعية والكياوية وذلك لأن الترتيب الذرى الداخلى لكل من المعدنين يختلف إختلافا واضحا، فمثلا يكون عنصر الكربون معدنين هما : الجرافيت Graphite ذو اللون الأسود، والماس Diamond الذى لا لون له، وشتان ما بين الصفات الأخرى في كل منها، وهذا الإختلاف الواضح بين المعدنين ما هو إلا نتيجة الإختلاف في التركيب الذرى لكل منها . ومن ثم تظهر بوضوح أهمية دراسة مبادئ علم البلورات كقاعدة لتابعة دراسة المعادن .

والجدير بالذكر أن معظم المعادن توجد في الطبيعة في حالة متبلورة Crystalline أى أن لها نظاما بلوريا يميزا ناتجا عن تركيب ذرى داخلى معين

كما توجد بعض المعادن في حالة غير متبلورة Amorphous أى ينقصها التركيب الذرى الداخلى مثل معدن أوبال (أكسيد سيليكون غير متبلور Opal) ، وقد تتحول المعادن غير المتبلورة تلقائيا بمرور الزمن إلى مواد متبلورة .

ولا يجوز إطلاق لفظ المعدن على مخلوط كيميائى مهما كانت درجة تجانسه حتى ولو كان قد تكون بفعل العوامل الطبيعية أو كان ذا تركيب كيميائى ثابت ، فمثلا إحدى عينات معدن الكوراندوم المختلطة بأكسيد الحديد والتي تسمى إمرى Emery هى مادة غير عضوية تتكون فى الطبيعة ولها تركيب كيميائى ثابت تقريبا ، إلا أنه يمكن فصلها إلى مركبين كيميائيين مختلفين هما (لومب) وهذا هو القانون الكيميائى لمعدن الكوراندوم Corundum ، والمركب الآخر (حباب) وهو القانون الكيميائى لمعدن ماجنيتيت (الحديد المغناطيسى) Magnetite ، ولهذا لا ينطبق تعريف المعدن على مثل هذه المخاليط الطبيعية . كذلك المواد أو المركبات الكيميائية التى صنعت وجهازت أو تكونت تحت عوامل غير طبيعية فلا ينطبق عليها تعريف المعدن ، فالصلب مثلا ولو أنه يصنع من خامات معدنية ظهرت بفعل العوامل الطبيعية إلا أن يد الإنسان قامت بتجهيزه وتدخلت فى إعدادة ميكانيكياً وبذلك لا يعد معدنا ، وكذلك الحال بالنسبة للزجاج والاسمنت .

وتعتبر دراسة المعادن مقدمة أساسية لدراسة الصخور ، إذ أن الصخر بصفة عامة ما هو إلا مادة صلبة تتكون من معدن واحد أو من خليط لمعادن عديدة وتكون جزءاً أساسياً من القشرة الأرضية . هذا علماً بأنه توجد أيضاً بعض الصخور التى تتكون من أصل عضوى (غير معدنى) مثل صخور

الفتح والصخور الجيرية المضوية الناتجة من تكس بقايا الهياكل العظمية للكائنات الحية .

وحيث أن الغرض الأساسي من الدراسة الحالية هو الوصول إلى معرفة بعض الحقائق عن مكونات القشرة الأرضية ، فإن مجال الدراسة هنا يستلزم مقدمة لمبادئ وعلم البلورات تتبعها دراسة مبدئية لعلم المعادن ، ثم دراسة مبسطة للصخور وأنواعها .

الباب الثاني

البلورات والمعادن

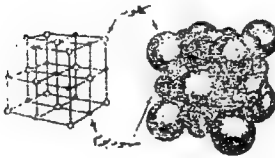
(بقلم الثاوى)

البلورات

يختص علم البلورات بدراسة المواد المتبلورة من حيث الشكل الخارجى للبلورات الكاملة النمو وعلاقة الأوجه البلورية بعضها ببعض، أى هندسة البلورات Crystal Geometry ، وكذلك خواصها الطبيعية المختلفة Crystal Physics مثل صفاتها البصرية ، وخواصها الكيميائية Crystal Chemistry وتركيبها الذرى البلورى Crystal Structure بطريقة الأشعة السينية X-Ray .

خواص البلورة

تعريف: البلورة هى جسم صلب متجانس له تركيب ذرى معين ومحدد بسطوح او مستويات مسطحة تكونت بفعل العوامل الطبيعية تحت ظروف مناسبة من الحرارة والضغط .



الأوجه البلورية : تتكون السطوح التى تحدد الشكل الخارجى للبلورة ، والتى تعين شكلها الهندسى المنتظم نتيجة التركيب الذرى لها (شكل ١٠)

وهذه السطوح الخارجية تسمى

(شكل ١٠ موجات ينتقل لتركيب الذرى العالى للبلورة

كلوريد الصوديوم (ملحق هاليت)

الأوجه البلورية Crystal faces

وتعرف طبقة الأوجه البلورية

على الظروف الطبيعية والكيميائية السائدة أثناء نمو البلورة ، فقد تنمو البلورة وتصل إلى بضعة سنتيمترات في حجمها إذا لم يوجد عائق يحول دون حرية نموها ، وقد تلتصق في الصغر بحيث يصعب رؤيتها بالعين المجردة . ونتيجة للظروف الطبيعية والكيميائية قد تتكون جميع الأوجه البلورية الممكنة أو بعضها أو ينعدم وجودها .

وغالبا ما تكون الأوجه البلورية مستوية وأحيانا مقوسة أو متعنية . والأوجه البلورية إما أن تكون متشابهة في البلورة الواحدة (شكل ١١ أ ، ب) أو غير متشابهة (شكل ١١ ج) . وحيث أن الأوجه البلورية هي التعبير الخارجي للتركيب الذري ، وتتكون عادة في المستويات التي تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات أو المجموعات الذرية للعناصر التي تتكون منها البلورة ، وحيث أن التركيب الذري ثابت ويميز لكل بلورة فلا بد أن تكون الأوجه البلورية ثابتة أيضا ومميزة للبلورة .

الأحرف (الحدود) Edges : وتتق من تقابل وجهين بلورين متجاورين .



صورة داليز



صورة ماس

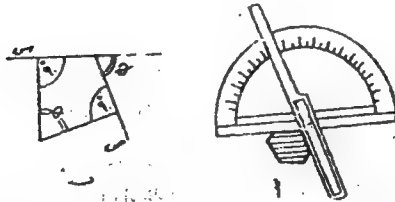


صورة نحاس

(شكل ١١) بين نماذج لبلورات متشابهة الأوجه (أ ، ب)
وبلورة غير متشابهة الأوجه (ج)

الزوايا الركنية Solid angles : وهي التي تتكون نتيجة تقابل أكثر من وجهين في البلورة .

الزوايا بين الوجوه Interfacial angles : تعرف الزوايا الناتجة من تلاقى أى وجهين بلورين متجاورين بالزاوية بين الوجوه ، وتقدر بلوريا بقيمة الزاوية المحصورة بين العمودين الساقطين على هذين الوجهين ، أى بما يساوى قيمة الزاوية المكمل للزاوية المحصورة بين الوجهين البلورين (شكل ١٢) . وللزوايا بين الوجوه أهميتها الخاصة في علم البلورات حيث أنها تدل على الصلة بين الأوجه البلورية التي ما هى إلا التعبير الخارجى للتركيب الذرى الداخلى ، وتسهل بالتالى التعرف على نوع البلورة ونظامها ، ومن البديهي إذن أن الزوايا بين الوجوه ثابتة القيمة (في درجة الحرارة الواحدة) لجميع البلورات التي لها تركيب كيميائى واحد وتركيب ذرى واحد بصرف النظر عن حجم البلورة وشكل أوجهها . وتعرف هذه الحقيقة بقانون ثبات الزوايا بين الوجوه Law of constancy interfacial angles وهو قانون أساسى في علم البلورات (نيكولاس ستينو ١٦٦٩) .



(شكل ١٢) بين جونيومتر القياس (١) لقياس الزوايا بين الوجوه (٢)
الزاوية المحصورة بين الوجهين البلورين (س ، س)

ويمكن قياس الزوايا بين الوجية في البلورة باستخدام « منقل » أو جونيوميتر ، ويوجد منه نوعان : جونيوميتر التماس Contact Goniometer لقياس الزوايا بين الوجية بالتقريب في البلورات الكبيرة الحجم (شكل ٥- أ) .. وأما النوع الثاني فيستخدم للحصول على القياسات الدقيقة للزوايا بين الوجية في البلورات الصغيرة الحجم ويسمى جونيوميتر عاكس Reflecting Goniometer .

وينتج عن التركيب الذري الداخلى للمادة المتبلورة - بالإضافة إلى تكوين الأوجه البلورية - بعض الصفات والخواص الطبيعية الأخرى ، فمثلا خاصية عدم تساوى الخواص الطبيعية في جميع الاتجاهات « عدم التجاهى Anisotropy » صفة هامة تفرق بين المادة المتبلورة والمادة غير المتبلورة . ومن أمثلة هذه الخاصية : عدم تجاهى التوصيل الحرارى ومعامل التمدد الحرارى ، ومعامل إنكسار الضوء ، وسرعة الضوء ودرجة امتصاصه .

ويتعدى الترتيب الذرى الداخلى في المواد غير المتبلورة وهن ثم لا يكون لها أوجه بلورية . ولكن ليس معنى هذا أن كل جسم صلب لا يتخذ أوجه بلورية أن يكون غير متبلور ، فهناك مواد متبلورة لم تسمح الظروف الطبيعية والكيميائية بتكوين الأوجه البلورية لها كما هو الحال في البلورات عديمة الأوجه ، ويفرق بين كل من المادتين حينئذ بظاهرة عدم تجاهى الخواص .

أما الأشكال الهندسية ذات السطوح الخارجية المستوية المصقولة صناعيا في الأشكال الزجاجية والرخامية التى تتعمل كتحف أو نماذج فنية فلا توصف بأنها مواد متبلورة لجرد أنها تحدد بسلوح مستوية تشبه الأوجه البلورية ، وذلك لأنه يقصها الترتيب الذرى الداخلى المميز للمادة المتبلورة .

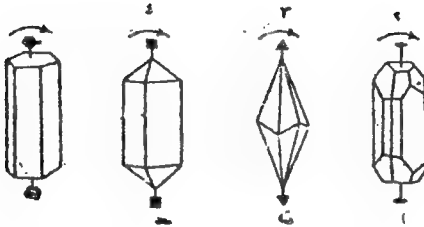
التماثل البلورى Crystallographic symmetry

إذا دققنا النظر فى بلورة ما ونحصنا وضع الأوجه البلورية وتوزيع الأحرف والزوايا الزكنية لوجدنا أن هناك ترتيباً هندسياً يميزها يخضع لقواعد معينة فى التوزيع والتنسيق . ويسمى هذا الترتيب الهندسى فى البلورة بالتناسق أو التماثل البلورى . وبالملاحظة نجد أن جوهر التماثل هو التكرار ، وأن درجة التماثل تختلف من بلورة إلى أخرى ، وتقدير بالنسبة لعناصر ثلاثة تسمى عناصر التماثل Symmetry elements وهى :

- ١) محور تماثل Axis of symmetry .
- ٢) مستوى تماثل Plane of symmetry .
- ٣) مركز تماثل Centre of symmetry .

وقد توجد هذه العناصر مجتمعة فى بلورة واحدة وقد يفتقر بعضها فى البلورات المنخفضة التماثل، وأحياناً يندم التماثل نهائياً كما هو الحال فى بلورات بعض المواد الكيميائية مثل نيوستات الكالسيوم للمائة .

محور التماثل . وهو خط وهمى يمر بمركز البلورة يمكن أن يدور أو تلف حوله البلورة بشرط أن يتكرر ظهور وجه أو حرف أو زاوية زكنية مرتين أو أكثر خلال دورة كاملة (360°) ، بمعنى أن يحتل وجه بلورى نفساً مشابهاً لوضعه الأول أكثر من مرة أثناء دوران البلورة حول هذا المحور دورة كاملة . ولذلك يسمى محور تماثل دوراني Rotation axis of symmetry (شكل ١٣) . وعلى قدر درجة التماثل الموجود فى البلورة قلنا تكرر وجهها ما عدداً معيناً من المرات فى الدورة الكاملة حول محور التماثل .

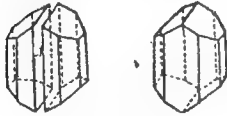


(شكل ١٣) - ١. ب. ج. د. يبين محاور دوران ثنائية ، ثلاثية رباعية
وسداسية التماثل

ويوصف محور التماثل الدوراني بأنه ثنائي Two-fold axis أو Digonal أو Diad إذا كان تكرار الأوضاع المتشابهة مرتين في الدورة الكاملة أي أن البلورة تعيد نفس الوضع كل ١٨٠° ويرمز لهذا المحور بالعلامة C_2 أو بالعدد «٢». وإذا كررت البلورة نفس الوضع ثلاث مرات في الدورة الكاملة أي كل ١٢٠° حول محور ما فإنه يسمى ثلاثي التماثل Three-fold axis أو Trigonal أو Triad ويرمز له بعلامة C_3 أو بالعدد «٣». وأما المحور الدوراني الرباعي التماثل Four-fold axis أو Tetrad فيكرر الوضع أربعة مرات في الدورة الكاملة أي كل ٩٠° ويرمز له بعلامة C_4 أو بالعدد «٤». وفي حالة المحور الدوراني السداسي التماثل Six-fold axis أو Hexagonal أو Hexad فإن الوضع يتكرر كل ٦٠° أي تعيد البلورة وضعها ستة مرات في الدورة الكاملة ويرمز له بعلامة C_6 أو بالعدد «٦». وبصفة عامة يمكن القول بأن درجة تماثل محور الدوران هي ٦ إذا ما أعادت البلورة نفس

الوضع \odot من المرات في الدورة الكاملة أى كل $\frac{360}{\odot}$. وقد تمكن الباحثون من إثبات أن المحور الدوراني الخماسي التماثل لا وجود له في البلورات حيث أنه لا يتفق والترتيب الذرى في النظم البلورية المختلفة .

مستوى التماثل : هو ذلك المستوى الذى يقسم البلورة إلى نصفين متساويين ومتشابهين بشرط أن يكون أحد النصفين صورة مرآة Mirror image للنصف الآخر (شكل ١٤) . ويرمز للمستوى التماثلي بالرمز (م) من كلمة مرآة . ويلاحظ أن كل وجه أو حرف أو زاوية ركنية على أحد



(شكل ١٤) بين مستوى التماثل في بلورة أوبسيت

جانبى هذا المستوى يناظره وجه أو حرف أو زاوية ركنية مشابهة على الجانب الآخر منه . ومن البديهي إستنتاج أن مستويات التماثل في البلورة هي نفس المستويات التماثلية بالنسبة

لترتيب الذرى الداخلى ، (راجع شكل ١٠) .

مركز التماثل : هو نقطة وهمية مركزية في البلورة تترتب حولها الأوجه البلورية والأحرف والزوايا الركنية في إزدواج وفي أوضاع متماثلة في اتجاهين متضادين وعلى مسافتين متساويتين من هذه النقطة المركزية ، بمعنى أن كل وجه بلورى أو حرف أو زاوية ركنية موجودة على جانب من مركز البلورة ويبعد عنه بمسافة معينة لابد أن يقابله وينظره على الجانب المضاد وعلى نفس البعد وجه بلورى أو حرف أو زاوية ركنية مشابهة . ويرمز لمركز التماثل بالحرف (\odot) من كلمة نقطة .

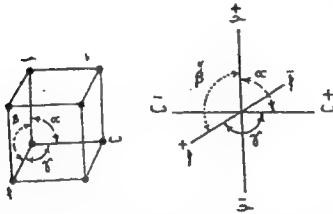
المحاور البلورية Crystallographic Axes

المحاور البلورية هي خطوط وهمية تقاطع في مركز البلورة وتمتد إلى وسط الأوجه البلورية أو الأحرف أو الزوايا الركنية المتناظرة في البلورة ، وتستخدم لتعيين وضع الأوجه في البلورة ، كما هو الحال في تعيين أوضاع المستويات المختلفة في الهندسة الفراغية بالنسبة إلى ثلاثة محاور متقاطعة في نقطة مركزية . وتعين الأوجه البلورية إما بالنسبة إلى ثلاثة محاور بلورية كما في معظم المجموعات البلورية أو بالنسبة لأربعة محاور وذلك في مجموعتين بلوريتين فقط (فعيلاني السداسي والثلاثي) . وتحدد عناصر التماثل ودرجتها بوضع واتجاهات المحاور البلورية ، وغالباً ما يكون المحور البلوري محور تماثل وخاصة المحور البلوري الرأسي ، وعادة ما يكون لهذا المحور أعلى درجة تماثل في البلورة كما يعين المجموعة التي تنتمي إليها .

ويسمى المحور البلوري الأفقي الممتد من الأمام للخلف (بالنسبة لدارس البلورة) المحور (١) a-axis ، ويميز الطرف الأمامي منه بإشارة موجب (+) والطرف الخلفي بإشارة سالب (-) (شكل ١٥) . ويسمى المحور الأفقي الآخر الممتد من اتجاه اليمين إلى اليسار (بالنسبة لدارس البلورة) بالمحور (ب) b-axis وطرفه الأيمن موجب والأيسر سالب ، أما المحور الثالث فيمتد رأسيًا ، أي من أعلى إلى أسفل ويسمى (ج) c-axis ويميز طرفه الأعلى بالموجب والأسفل بالسالب . وتقاطع المحاور البلورية في مركز البلورة مكونة ما يسمى بالصليب المحوري أو التقاطع المحوري Axial cross ، وتسمى الزوايا البلورية فيما بينها الزوايا المحورية Axial angles . وتسمى الزاوية

المحصورة بين المحور $أ$ ، $ب$ بزاوية γ والزاوية بين $ب$ ، $ح$ ألتا (α) والزاوية بين $ح$ ، $أ$ بيتا (β) .

وتعرف النسبة بين أطوال المحاور البلورية $أ : ب : ح$ بالنسبة المحورية Axial ratio على أساس تقدير طول المحور $(ب)$ كوحدة. وهذه النسبة تاجه وميزة لبلورات المعدن الواحد. فمثلا تمتاز بلورة المكعب بثلاثة محاور بلورية متساوية في الطول $أ = ب = ح$ أو $1 : 1 : 1$ ، أى أن النسبة المحورية $1 : 1 : 1$. والنسبة المحورية لبلورة الكبريت المعيني (الذى يسمى لفصيلة المعيني القائم) هي $أ : ب : ح = 0.681 : 1 : 0.69$ وفى كل من فصيلة



(شكل ١٥) يبين عناصر البلور المحاور البلورية $أ ب ح$ والزاويا المحورية α, β, γ الرباعى والسداسى والثلاثى حيث تتساوى المحاور الأتقية أى أن $أ = ب = ح$ الوحدة فإن النسبة المحورية هي $1 : 1 : 1$ ، $ح$. فمثلا بلورة الزبركون الرباعى لها النسبة المحورية $1 : 0.69$. أو بطريقة أخرى مبسطة $ح = 0.69$ ، وفى بلورة الهمبل السداسى $ح = 0.49$ أى أن المحور $(ج)$ أقصر من المحاور الأتقية. فلما فى البلورات التى يميل فيها أحد المحاور البلورية على المحورين

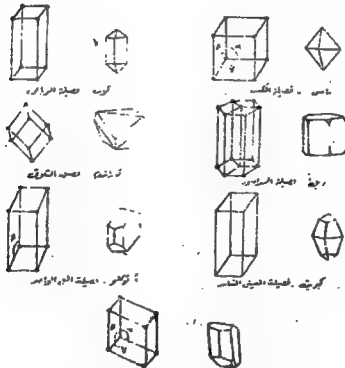
الآخرين (فعيلة أحادي الميل) فيازم ذكر قيمة الزوايا المحورية بيتا « β » بجانب النسبة المحورية، فمثلا بلورة الجبس لها النسبة المحورية ١ : ب : ح = ٠.٥٦٩ : ١ : ٠.٤١. وزاوية بيتا ١٨° - ٩٩°. وعندما تيل المحاور البلورية الثلاثة على بعضها (فعيلة ثلاثي الميل) فيجب توضيح قيمة الزوايا المحورية الثلاثة بالإضافة إلى النسبة المحورية، فمثلا بلورة معدن أكسينيت Axinite لها النسبة المحورية ١ : ب : ح = ٠.٥٤٩ : ١ : ٠.٤٨. والزاوية ألفا α = ٥٤° - ٨٢° والزاوية بيتا β = ٥٢° - ٩١° والزاوية جاما γ = ٣٢° - ١٣١° وعلى أساس عناصر التيلور - وهي المحاور البلورية والزوايا المحورية - يمكن تصنيف النظم البلورية إلى سبعة فئات بلورية Crystal systems لكل منها محاور بلورية ذات أطوال ثابتة وزوايا محورية ذات قيم ثابتة مميزة وهذه الفئات هي :-

- ١ - فعيلة المكعب Cubic system : لها ثلاثة محاور بلورية متساوية الأطوال a, a, a ومتعامدة، أي أن الزوايا المحورية $\alpha = \beta = \gamma = ٩٠^\circ$ (شكل ١٦). ومن المعادن التي تتبع هذه الفعيلة جالينا (كبريتيد الرصاص - ركب)، هاليت (ص كل)، فلوريت (كافل)، ماجنيتيت (ح هـ).
- ٢ - فعيلة الرباعي Tetragonal system. تتميز بثلاثة محاور بلورية، إثنين أفقيين متساويين في الطول a, a والمحور الرأسى (ح) أقصر أو أطول منها، والمحاور الثلاثة a, a, c متعامدة، أي أن الزوايا المحورية $\alpha = \beta = \gamma = ٩٠^\circ$ ويتبع هذه الفعيلة معدن زيركون (كن س)، روتيل (ق ا)، كاسيتريت (ق ا).

٣ - فعيلة السداسى Hexagonal system : تتميز بوجود أربعة محاور -

ثلاثة منها أفقية متساوية الطول وتقاطع في زوايا 120° ومحور رأسى أطول أو أقصر من المحاور الأفقية ويتعامد على المستوي الذي يشمل المحاور الأفقية الثلاثة. a, a, a, c ، والزوايا $\alpha = \beta = \gamma = 120^\circ$. ويتبع هذه الفصيلة معدن بيريل (الزمرد) وهو سيليكات الألومنيوم والبريليوم (بل $3\text{SiO}_2 \cdot \text{Be}_3\text{O}_3$).

٤ - فصيلة الثلاثي Trigonal system : تتشابه مع فصيلة السداسي في صلة المحاور البلورية a, a, a, c وتختلف عنها في المحور الرأسى (c) فهو سداسي التماثل في فصيلة السداسي وثلاثي التماثل في فصيلة الثلاثي. ويتبع هذه الفصيلة معدن كالسيت (كالكا)، سيدريت (حكا)، هيانتيت (حكا)، كورانوم (لوكا).



أشكال مختلفة من البلورات

(شكل ١٦) يوضح نماذج النماذج البلورية البسيطة

٥ - فصيلة المعنى القائم Orthorhombic system : المحاور البلورية الثلاثة مختلفة الأطوال وغالباً ما يكون $\alpha < \beta < \gamma$. والزوايا المحورية $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. ويتبع هذه الفصيلة معادن باريث (باكب ١) ، أراجونيت (كالك ١) ، أوليفين : سيليكات الماغنسيوم والحديد (ماء ح) س ١ .

صفة المحاور	فصيلة	طول وحدة المحاور على الاتجاهات				قيمة الزوايا المحورية		
		هـ	د	و	ل	α	β	γ
طول واحد Monometric	المكعبى	١	١		١	٩٠	٩٠	٩٠
طولين Dimetric	الرباعى	١	١	٠	ح	٩٠	٩٠	٩٠
	السداسى	١	١	١	ح	٩٠	٩٠	١٢٠
	الثلاثى	١	١	١	ح	٩٠	٩٠	١٢٠
أطوال ثلاثة Trimetric	المعنى القائم	١	ب		ح	٩٠	٩٠	٩٠
	أحادى الميل	١	ب		ح	٩٠	٩٠ <	٩٠
	ثلاثى الميل	١	ب		ح	٩٠ ≠	٩٠ ≠	٩٠ ≠

٦ - فصيلة أحادى الميل Monoclinic system : المحاور الثلاثة مختلفة الأطوال $a \neq b \neq c$ ، المحور الأفقى (ب) عمودى على المحور (ح) والمحور (ا) مائل على المستوى الرأسى الذى يشمل المحورين ب، ح أى أن الزوايا المحورية $\alpha = \beta = 90^\circ$ والزاوية $\gamma < 90^\circ$. ويتبع هذه الفصيلة معادن جيبس (كالك ١-٢، ١)، آرثوكلاز (سيليكات ألومنيوم وبوتاسيوم) ،

أوجيت (سيليكات لو، ح، ما، كا)، هورنبلند (سيليكات لو، ح، ما، كا، يدا) .

٧ - فصيلة ثلاثي الميل Triclinic system : المحاور البلورية الثلاثة مختلفة الأطوال $a \neq b \neq c$ ، $\alpha \neq \beta \neq \gamma$.
ومن المعادن التي تبلور حسب هذه الفصيلة معدن أليت (سيليكات لو، ص)،
أنورتيت (سيليكات لو، كا) . ويوضح الجدول السابق الصلة بين المحاور
البلورية والزوايا المحورية في الفصائل البلورية .

المعادن

(قبل التناوب)

تشمل دراسة علم المعادن - بجانب الدراسة الفرعية لعلم البلورات التي سبق
إيجازها في هذا الباب - دراسات فرعية أخرى مثل :-

أولاً) التحليل الطبيعي للمعادن Physical Mineralogy : تشمل دراسة
خواصها الطبيعية مثل اللون ، الخدش ، اليريق ، الصلادة ، الوزن النوعي ،
والصفات المغناطيسية والحرارية والكهربائية ... الخ .

ثانياً) ، الدراسة الكيميائية للمعادن Chemical Mineralogy : تبحث هذه
الدراسة في التركيب الكيميائي للمعادن المختلفة وخواصها الكيميائية والعلاقة
بين هذه الخصائص والتركيب البلوري وكذلك البحث في أصل المعادن
Origin of Minerals وكيفية تكونها .

ثالثاً) دراسة الرواسب المعدنية Mineral Deposits : وتبحث في التكوينات ،
أو الرواسب المعدنية لمعرفة مكوناتها وأصلها ونشأتها وأماكن وجودها ،
وهذه الدراسة أساسية لعلم التاجم Mining الذي يختص باستخراج وإستغلال
الرواسب المعدنية وتجهيزها للصناعة .

رابعاً) التحليل الوصفي للمعادن Descriptive Mineralogy : ويختص
هذا الفرع بوصف المعادن - وخاصة المعادن ذات الأهمية - من حيث صفاتها
الطبيعية والكيميائية ، وأصلها وكيفية تكونها وأماكن وجودها وفوائدها .
خامساً) . التحليل البصري للمعادن Optical Mineralogy : وهي دراسة
تكميلية وتأكيديّة للتحقق من صحة تحديد شخصية المعادن المختلفة ، وذلك
باستخدام الحارق البصري بواسطة مجهر خاص ، ميكروسكوب إستقطابي .

وستقتصر الدراسة هنا - لفريق المجال - على بعض الخواص الطبيعية للمعادن ، ونبدء عن طريقة تعيين التركيب الكيميائي للمعادن ، وموجز مبسط عن التصنيف الكيميائي للمعادن والرواسب المعدنية .

الخواص الطبيعية للمعادن

تتوقف الخواص الطبيعية للمعدن على تركيبه الكيميائي وتركيبه الذري الداخلى إذا كان متبلورا ، ولذلك نعظمها بميز للمعادن المختلفة حيث أنها غالباً ما تكون ثابتة للمعدن الواحد ، وتساعد كثيراً على التعرف على شخصية المعدن بصفة مبدئية وتمييزه عن المعادن الأخرى . وأهم الخواص الطبيعية للمعادن هي :

(١) خواص ضوئية (أو بصرية) Optical properties وتعتمد على الضوء مثل اللون ، الخدش ، البريق ، الشفافية والتضوء (تفسروتنقل) .. الخ .
(٢) خواص حواسية Sense properties : تعتمد على بعض الخواص مثل الطعم والرائحة والملمس .

(٣) خواص تماسكية Cohesive properties : وتتوقف على حالة تماسك المعدن مثل الصلادة ، والإتقانم والمكسر وقابليته للسحب والطرق .

(٤) الوزن النوعى (الثقل النوعى) Specific gravity

(٥) خواص حرارية مثل درجة الانصهار Fusibility

(٦) خواص مغناطيسية Magnetic ، كهربية Electric ، إشعاعية Radioactivity

الخواص الضوئية

اللون . يتنج لون المعدن عن قدرته على عكس (إعكاس) نوع معين من الموجات الضوئية الملونة وإمتصاص الموجات الأخرى التى تكون أشعة الضوء العادى ، فيبدو لون المعدن أحمرأ إذا كان يعكس الموجات الحمراء ويمتص جميع الموجات الأخرى المكونة للضوء العادى . ويظهر المعدن أسود اللون إذا أنه لا يعكس الضوء ، أو يعكسه بكمية ضئيلة جدا لا تؤثر فى شبكية العين لتعطى الإحساس باللون . وإذا كان للمعدن القدرة ليعكس جميع الموجات أو الذبذبات الضوئية فإنه يبدو أبيض اللون . ويعتبر لون المعدن من أهم الخواص الطبيعية الظاهرة الأخاذة التى يمكن الإستفادة منها فى التعرف على بعض المعادن الناتجة اللون .

كثيرا ما يكون لبعض المعادن ألوان ثابتة إلى حد ما ، وتسمى (أيدو كروماتيك) Idiochromatic . ومن الأمثلة الشائعة لهذا النوع معدن الكبريت Sulphur ولونه أصفر فاقع ، مالايت Malachite (كربونات النحاس المائية) ولونه أخضر ، أزوريت Azurite (كربونات النحاس المائية) - نح (كأ) - ٢ (يدى) ولونه أزرق ، سنابار Cinnabar (كبريتيد الزئبق) ولونه أحمر قانى ، ماجنتيت Magnetite (أكسيد الحديدوز والحديدك) ولونه أسود ، ومعدن بايريت Pyrite (كبريتيد الحديد) ولونه أصفر نحاسى .

وقد يتغير اللون فى الأنواع Species المختلفة للمعدن الواحد ويوصف حينئذ بأنه متغير اللون (اللو كروماتيك) Allochroatic . ويعزى تغير لون المعدن إلى إحتوائه على شوائب ملونة pigments أو شوائب دخيلة تسمى مكثفات Inclusions ، فعدن الكوارتز الذى عديم اللون ، ولكن تظهر الأنواع

Quartz الذى يحتوى على شوائب ملونة (أكاسيد حديد حمراء) تعمل عمل الأصباغ فى المعدن ، ويحتوى الكوارتز Amethyst على بعض شوائب ملونة بنفسجية (أكسيد المنجنيز) ، وكذلك الحال فى الكوارتز المدخن Smoky Quarts وتنتشر الشوائب الملونة فى المعدن بغير إنتظام ، فقد توجد فى شكل بقع أو نقط غير منتظمة كما فى الكوارتز البنفسجى والياقوت الأزرق (الزفير - لو ٣٧) Shapphire ، وأحياناً توجد الشوائب الملونة فى طبقات أو حلقات أو أحزمة منتظمة كما فى معدن أجيت (العقيق) Agate وهو كوارتز خفى التلوين ، وتورمالين (بوروسيليكات لو ، ح ، ما) Tourmaline وقد يكون التغير فى لون الأنواع المختلفة للمعدن الواحد نتيجة اختلاف ضئيل فى التركيب الكيميائى (فى أضيق الحدود) من نوع لآخر ، فيظهر معدن سفاليريت (كبريتيد الحارصين الحديد) Sphalerite فى ألوان مختلفة تتدرج من البنى المصفر إلى الأسود وذلك نتيجة تزايد نسبة عنصر الحديد فى الأنواع السوداء .

تلاعب الألوان Playing of Colours : عرض الألوان تتوقف هذه الظاهرة على قدرة المعدن فى خاصية إنتشار الصورة وتفرقة Dispersion ، وتميز هذه الخاصية إلى إنقسام الأشعة الضوئية العادية إلى مكوناتها الملونة عند دخولها وخروجها من المعدن ، مثل الماس الذى يتلاعب بالألوان أو يقوم بعرضها عند تغيير وضعه بالنسبة للعين ، نتيجة قدرته الفائقة فى خاصية الإنتشار الضوئى .

تغير الألوان Change of colours تشبه هذه الظاهرة إلى حد ما خاصية تلاعب الألوان ، إلا أنها تنتج عن تدخل أشعة الضوء المنعكسة من أسطح مستويات متوازية محتوية على صفائح رقيقة من معادن أخرى متشاكلة

دخيلة في المدن . وتتمثل هذه الظاهرة بوضوح في بعض أنواع معدن لابرادوريت (سيليكات لو ، ص ، كا) Labradorite ، إذ يغير الألوان في نتائج ظاهر ، فيعطى الألوان الزرقاء ، الخضراء ، الصفراء والحمراء عند تحريكه أمام العين ، أو إذا نظر إليه إتجاهات مختلفة .

الالالة «خاصية الأوبال» Opalescence هي مظهر لؤلؤى Pearly أو لبني Milky لبعض المعادن مثل أوبال (أكسيد سيليكون مائي وغير متبلور) Opal ، ومنه اشتق اسم هذه الخاصية . وتنتج الالالة عن انعكاسات ضوئية من داخل المعدن حيث توجد بعض جزئيات مختلطة الترتيب فتعطى صفات بصرية مختلفة ، وتظهر أحيانا بأهرة اللون وخاصة إذا كان سطح المعدن مصقولاً مثل معدن حجر القمر Moonstone (سيليكات لو ، ص - أليت ، بلاجيو كلاز) .

التلون الطيفي Iridescence : تتلون بعض المعادن بألوان الطيف الزاهية نتيجة تداخل أشعة الضوء في شقوق دقيقة محاطة بأغشية هوائية أو سائلة داخل المدن ، وتظهر هذه الخاصية في بعض أنواع الكوارتز والكالبيت والميكا التي قد توجد فيها هذه الشقوق نتيجة كسور دقيقة غير ظاهرة .

اللون البراق (خاصية عين الهر) chatoyancy : وهو خاصية ظهور المدن في لون براق متموج يخطف البصر ، ويختلف باختلاف إتجاه النظر إليه مثل لون الحرير للموج (شانجمان Changant) . وينتج هذا اللون البراق من اختلاف الانعكاسات الضوئية على سطح المعادن الأليافية النسيج ، فتشبه بريق عين القط .

التصقُّ Tarnish : عبارة عن تغير سطحي في لون المعدن نتيجة تحلل

الطبقة الخارجية منه بجرسها لعوامل التجوية المختلفة فيظـر لونها مختلفا عن اللون الأصلي لها . ولهذا يجب تعيين لون المعدن دائما على سطح غير متعدي ، كسطح حديث الكسر .

التضوء Luminescence : هو خاصية بعض المعادن التي لها قدرة الأشعاع الضوئي إذا ما تعرضت لطاقة أخرى مثل الطاقة الاحتكاكية ، الحرارية ، الكهربائية أو الأشعة فوق البنفسجية ، وبذلك يظهر المعدن متألقا وهاجا ذو لون باهر قد يختلف تماما عن لونه الأصلي قبل تعرضه لذلك المؤثر الخارجي . فتتضوأ إحدى عينات معدن الفلوريت إذا ما وضعت على قرص حديدي ساخن وتتألق في لون مختلف عن لونه الأصلي . وكذلك الحال عند حك قطعتين من معدن الكوارتز في مكان مظلم فإنهما يشعان ضوءاً متألقاً ويتضوأ معدن الكالسيت في لون أحمر وهاج إذا ما تعرض للأشعة فوق البنفسجية . ومن التضوء نوعان :

١) التفلر (Fluorescence) : يتضوأ المعدن أثناء تعرضه للمؤثر الخارجي فقط ، وتزول هذه الخاصية بمجرد زوال المؤثر ، وقد اشتق هذا الاسم من معدن الفلوريت (فلورسبار) الذي يمتاز بوضوح هذه الخاصية .

٢) التفسفر (Phosphorescence) : يتضوأ المعدن أثناء وبعد تعرضه للمؤثر الخارجي . وقد تمثل خاصية التفسفر لنا كد من تقاوة بعض الأحجار الكريمة مثل اللاس والياقوت وبعض المعادن الأخرى التي تتألق بوضوح بعد تعرضها للأشعة الـبنفسجية .

للخدش Streak : هو لون مسحوق المعدن ، وقد يختلف كثيرا عن لون المعدن في حالته الكتلية ، فلون معدن البايريت أصفر نحاسي ولكن بخدشة

أسود ، وتختلف معادن أكاسيد الحديد الداكنة اللون أو السوداء مثل هيماتيت ، ماجنيتيت وجويفيت Goethite في نغدها ، فالأول ذو نغده أحمر قاني ، والثاني أسود المخدش ، والثالث نغده أصفر . ويمكن التعرف على مخدش المعدن بواسطة حكه على سطح لوحة من الصيني غير المصقول أو المظني تسمى لوحة المخدش Strak plate . وفي حالة ما إذا كان المعدن أشد صلادة من لوحة المخدش فإنه لا يترك عليها أثر المخدش ، ويمكن الحصول على مخدش المعدن في مثل هذه الحالة بصحن جزء صغير منه إلى مسحوق ناعم ، أو يبرد طرف المعدن .

البريق Lustre : هو مظهر سطح المعدن في الضوء المنعكس ، ويتوقف بريق المعدن في نوعه وسدته على نوع وشدته الانعكاسات الضوئية على سطحه . ويعتبر البريق من الخواص الضوئية الأساسية والميزة للمعادن . وللبريق أنواع .

١) **البريق الفلزي Metallic :** وهو البريق العادي للفلزات مثل الذهب والفضة وكذلك المعادن القائمة اللون ذات المظهر الفلزي مثل معد البيريت ومعد جالينا (كريتيد الرصاص) . وتوجد بعض معادن ذات بريق فلزي ضعيف « تحت فلزي » Submetallic lustre مثل كروميت (أكسيد الحديد والكروم — ح ١٠ ك ١) Chromite ، كوبريت (أكسيد النحاس الأحمر — نح ١) Cuprite ، وغالبا ما تكون المعادن ذات البريق الفلزي قائمة اللون ثقيلة الوزن

٢) **البريق اللافلزي Nonmetallic lustre :** يظهر هذا البريق عادة في المعادن القائمة اللون والشفافة . ويشمل الأنواع التالية . —

١ - بريق زجاجي Vitreous (glassy) lustre : يشبه بريق الزجاج كما في معدن كوارتز ، ولبعض المعادن بريق زجاجي ضعيف « تحت زجاجي » Subvitreous lustre مثل الكالسيت .

ب - بريق صمغي « واتنجي » Resinous : يشبه بريق الصمغ كما في معدن أوبال ومعدن غير Arnpier (= صمغ حجري Fossil resin) ومعدن سفاليريت

ج - بريق لؤلؤي Pearly lustre : يشبه بريق اللؤلؤ كما في معدن تالك (سيليكات ماغنسيوم مائية) Talc .

د - بريق حريري Silky lustre : ويظهر هذا البريق على سطح المعادن الأليافية النسيج مثل إحدى عينات معدن الجبس (جبس ساتان Satin spar) وعينات الأسبتوس المعروفة باسم أميانثوس Amianthus « أميات » .

هـ - بريق ماسي Adamantine lustre : بريق باهر نتيجة كبر معامل الانكسار الضوئي في المعدن مثل بريق الماس .

الشفافية Transparency : تتوقف هذه الخاصية على قدرة المعدن على إنقاذ الضوء أو إرساله ، فالمعادن التي تسمح بإتقاذ الضوء بدرجة كبيرة وتسمح برؤية الأجسام خلالها يوصف بأنها شفافة Transparent ، ويوصف المعدن بأنه ضعيف الشفافية « تحت شفاف » Subtransparent أو شبه شفاف Semitransparent إذا كان يسمح بإتقاذ الضوء بدرجة أقل من معدن شفاف ، بمعنى أنه يسمح برؤية الأجسام خلاله بغير وضوح تام . وتوجد بعض معادن قادرة على إنقاذ الضوء ولكنها لا تسمح برؤية الأجسام خلالها فتسمى نصف شفافة Translucent . ويعرف المعدن بأنه معتم Opaque إذا لم يكن

قادرا على إغاذ الضوء حتى من شرائحه الرقيقة ، مع ملاحظة أن بعض المعادن القائمة والتي تظهر كأنها معتمة في حالتها السكتية قد تكون تصف شفافة عند أحرفها الرقيقة أو شفافة في شرائحها الرقيقة .

الخواص التماسكية

تتوقف الخواص التماسكية للمعدن بعنفة عامة على نوع التركيب البلورى، أى الترتيب التدرى الداخلى وقوى الربط (الأواصر) Bonds بين الأيونات أو الذرات أو الجزيئات المكونة لبلورات المعدن ، ولذلك تختلف هذه الخواص من معدن لآخر ولكنها ناتجة ونميمة للمعدن الواحد . وأهم الخواص التماسكية :

(١) الصلادة Hardness : هى مقدار مقاومة المعدن للخدش أو السكشط أو التفتت والتآكل ، وهى من أهم الصفات الطبيعية المميزة للمعادن حيث أنها تختلف من معدن لآخر . ويمكن تعيين صلادة المعدن بعنفة مبدئية ، وذلك بملاحظة السهولة أو الصعوبة التى يتخدش بها المعدن باستخدام الظفر أو دبوس أو مطواه أو نصل سكين صلب حاد ، ولكن عادة ما يستخدم مقياس خاص يسمى مقياس موه للصلادة Moh's scale of hardness . لتقدير صلادة المعدن تقديرا نسبيا . ويحتوى هذا المقياس على عشرة معادن معروفة الصلادة ومرتبعة ترتيبا تصاعديا حسب درجة صلابتها النسبية ، مبتدئة من المعدن الأقل صلادة وهو معدن تالك Talc وصلادته (١) واحد ، ومنتية بمعدن الماس Diamond الذى يمثل أعلى درجات الصلادة النسبية وهى عشرة (١٠) فى هذا المقياس .

وتفاوت درجات الصلادة في المعادن المكونة لمقياس موه للصلادة كالآتي :-

Orthoclase	٦ - أرتوكلاز	يتخدش بالظفر	Talc	١ - تالك
Quartz	٧ - كوارتز		Gypsum	٢ - جبس
Topaz	٨ - توباز	يتخدش باللبوس أو بمنزل سكين	Calcite	٣ - كالسيت
Corundum	٩ - كوراندوم		Fluorite	٤ - فلوريت
Diamond	١٠ - ماس		Apatite	٥ - أبائيت

ويمكن إحلال الزجاج (زجاج نافذة) محل معدن أبائيت في الحالات الإضطرابية وكذلك إحلال (الرط) Flint محل معدن الكوارتز بمعنى أنه يمكن تقدير صلادة كل من الزجاج العادي والفلينت بدرجة (٥) ، (٧) على التوالي .

وتحضر صلادة المعدن أولاً بمحاولة خدش بالظفر ، فإذا إنخدش المعدن كانت صلادته أقل من (٣) وبذلك تتحدد صلادته التقريبية ، عندئذ يسهل قياس درجة صلادته الحقيقية بإختياره بأحد معادن مقياس موه للصلادة : إما معدن جبس أو تالك في هذه الحالة ، فإذا خدش التالك المعدن المطلوب إيجاد صلادته بسهولة فتكون صلادة المعدن أقل من (١) وتقدر حسب سهولة الخدش . وإذا لم يتخدش المعدن بالتالك فيختبر ثانية بمعدن جبس فإذا إنخدش المعدن بسهولة كانت صلادته أقل من (٢) وتراوح ما بين (١) ، (٢) وتقدر ١½ ، ١ أو ١¼ حسب سهولة إنخدشه بمعدن جبس . فإذا لم يتخدش المعدن بمعدن جبس بل العكس صحيح ، أي أن المعدن المطلوب إيجاد صلادته يخدش معدن الجبس فتكون صلادته أكبر من (٢) وتقدر ٢½ أو ٢ حسب سهولة إنخدشه بالجبس بذلك المعدن .

فإذا لم يتخدش المعدن المطلوب إيجاد صلادته بواسطة الظفر فيختبر بمحاولة خدشة بمطواة أو بقطعة من زجاج النافذة، فإذا إنخدش بسهولة حددت صلادته التقريبية بين (٥) ، (٣) ، ثم يختبر بواسطة المعادن القياسية في مقياس موه للصلادة لتحديد صلادته الحقيقية . فإذا انخدش بمعدن أباتيت وكان ينخدش في الوقت نفسه معدن فلوريت فصلادة المعدن تتراوح بين (٥) ، (٤) وتقدر $\frac{1}{2}$ أو $\frac{3}{4}$ أو $\frac{5}{8}$ بمقدار سهولة إنخداشه بمعدن أباتيت أو خدشه لمعدن فلوريت ، وهكذا .

وفي حالة ما لم يتخدش المعدن بمطواة أو نصل سكين حاد فتقدر صلادته التقريبية أكبر من (٥) ويختبر بالمعادن القياسية الأخرى لتحديد صلادته الحقيقية بالطريقة السابق شرحها . وينبغي ملاحظة أنه إذا انخدش معدن ما بواسطة أحد المعادن القياسية وأن الآخر قد انخدش في نفس الوقت بواسطة ذلك المعدن بدرجة متتارية كان هذا دليل على تساوي درجة صلادة كل من المعدنين ، كما يجب التأكد من وجود خدش على سطح المعدن بعد الاختبار ومسح المسحوق الناتج من الخدش أو البرد .

وتدل الاختبارات الدقيقة لصلادة معظم المعادن على أن درجة الصلادة تتغير في المعدن الواحد تبعاً لإتجاه الخدش وتسمى هذه الخاصية عدم تنباه الصلادة Hardness anisotropy . وتقدر صلادة بلورة كيانيت (سيليكات الألومنيوم ، فصيلة ثلاثي الميل) Kyanite (٤) تقريباً في إتجاه طول البلورة و (٧) في الإتجاه العمودي عليه . وأحياناً توجد المعادن القياسية للصلادة على هيئة أقلام تثبت في نهاية كل منها جزء مخروطي الشكل من أحد معادن المجموعة القياسية

للمصلادة وتسمى أقلام المصلادة Hardness pencils ، وقد كتبت هذه الأقلام

جول حلقة تعرف بمجلة المصلادة Hardness wheel

(٢) الانقسام Cleavage : هو خاصية تفتت أو إنقسام بعض المعادن المتبلورة في اتجاه مستويات منتظمة متوازية إذا ما طرقت طرقاً خفيفاً ، وتسمى مثل هذه الاتجاهات مستويات الانقسام Cleavage planes . وترتبط اتجاهات مستويات الانقسام ارتباطاً وثيقاً بالتركيب البلورى ، فتكون دائماً موازية لوجه بلورى معين أو عدة أوجه مميزة في المعدن القابل للانقسام . وينتج الانقسام عن كيفية رسم الذرات ونوع الروابط بينها ، ففي مستويات الانقسام ذاتها تكون الذرات متقاربة الرص والروابط بينها قوية ، أى أن الذرات في هذه المستويات كثيفة ومتساكة فيها بينها بقوة في حين أن رسم الذرات يكون متباعدا نسبياً وأن قوى الربط بينها كذلك ضعيفة في اتجاه الصمودى على اتجاه مستويات الانقسام . ومن البديهي إستنتاج أن خاصية الانقسام لا توجد في المعادن غير المتبلورة .



وقد يوجد أكثر من اتجاه واحد لمستويات الانقسام في بعض المعادن ، وعادة ما يتميز أحد هذه المستويات بسهولة إنقسامه عن الاتجاهات الأخرى . ويوصف الانقسام بالنسبة للاتجاه البلورى للمستوى أو المستويات التى يوازئها ،

(شكل ١٢) مستويات انقسام
مكسي في بلورة هاليت

وبالنسبة إلى درجة كاله أى مدى سهولة الانقسام في كل من هذه المستويات .
 فينقسم معدن هاليت وجالينا في مستويات موازية لأوجه المكعب ويوصف بأنه مكعبى الانقسام ، بينما يتميز معدن فلوريت والماس بمستويات إنقسام موازية لأوجه ثماني الأوجه المكعبى ويسمى انقسام ثماني الأوجه . ويوجد إنقسام معيّن في معدن كالسيت حيث توازى مستويات الانقسام أوجه معيّن الأوجه مهما اختلفت هيئة بلوره الكالسيت .

٣. الانفصال Parting : هي ظاهرة تحزؤ أو إنقسام المعدن إلى أجزاء عند مستويات ضعيف غير متوازية في اتجاهات غير تاجية وغير مميزة . وتنتج ظاهرة الانفصال من تأثير عوامل طبيعية خارجية على بعض المعادن بعد تكوينها بسبب تعرضها لعوامل ضغط أو تكسير أو عوامل إخلال تودى إلى سهولة إنقسام المعدن في مستويات غير منتظمة . وليس من الضروري ظهور مستويات إنقسام في جميع بلورات المعدن الواحد حيث أن هذه الظاهرة لا ترتبط بالتركيب البلورى ، ولكنها نتيجة للعوامل الخارجية التى كثيرا ما تختلف من مكان لآخر . وقد تشابه مستويات الانفصال ومستويات الانقسام ظاهريا ولكن يمكن ، بدقة الملاحظة ، تمييز الأخير بتوازى اتجاه مستوياته مع بعضها في اتجاه بلورى ثابت يميز ، وكذلك بتساوى المسافة بين مستويات الانقسام واختلافها في مستويات الانفصال .

٤. المكسر Fracture : هو عبارة عن شكل أو هيئة سطح المعدن عندما يتكسر أو يفتت في اتجاهات أخرى مختلفة عن مستويات الانقسام والانقسام . ويظهر المكسر بوضوح في المعادن التى لا تنقسم والتي لا يوجد بها مستويات إنقسام كما هو الحال في بعض المواد غير المتبلورة .

ومن اليسير التفرقة بين سطح مستوى إقصام و سطح مكسور في غير إنتظام .
ويوصف مكسر المعدن بأنه:

١ - محارى Conchoidal : حيث يظهر سطح المعدن المكسور على هيئة خطوط مقوسة متراكزة تصح وتتلاشى تدريجيا كما بعدت عن نقطة مركزية ، وتشبه تماما خطوط النمو في المحارات ، أو الدوائر المتراكزة عند خبط الزجاج السميكة ، مثل مكسر الكوارتز والفليت . وأحيانا يظهر المكسر المحارى ضحيفا فيوصف بأنه تحت محارى Subconchoidal .

ب - مستوى Even : يظهر سطح الكسر متبسطا أو مستويا مثل مكسر معدن تشيرت Chert : (سيلكا مائية خفية البلور) .

ج - غير مستوى Uneven : سطح الكسر خشن غير مستوي نتيجة وجود يروزات أو تنوعات دقيقة كما هو الحال في معظم المعادن عند كسرها .

د - مسنن أو مضط Hackly : يظهر السطح على هيئة أسنان حادة مثل مكسر النحاس .

هـ - ارضى Harthy : عندما يكون مظهر السطح المكسور غير منتظم مثل البياشيم والكاولين Kaoline .

الوزن النوعي ، الثقل النوعي ،

الوزن النوعي هو نسبة وزن حجم معين من مادة ما إلى وزن حجم مساو له من الماء عند درجة ٤° مئوية ، وبعبارة أخرى هو نسبة كثافة المعدن إلى كثافة الماء . ويحصر الوزن النوعي من الصفات الهامة والمميزة للمعدن وهو

ثابت القيمة للمعدن الواحد عند ثبات درجة الحرارة والتركيب الكيميائي .
 ويختلف الوزن النوعي اختلافاً يائاً في كثير من المعادن التي قد تتشابه فيما بينها
 في بعض صفاتها الطبيعية الأخرى ، مثلاً يوجد تشابه كبير بين معدني سليستيت
 (كبريتات سزونيوم) وباريت (كبريتات باريوم) ولكن يمكن
 تمييز أحدهما عن الآخر بوزنه النوعي وهو ٣٦٩٦ لمعدني سليستيت ، و ٤٥٤٠ لمعدن
 باريت . ويوقف الوزن النوعي على التركيب الكيميائي للمعدن ،
 وليس أدل على ذلك من أن معادن الرصاص دائماً ثقيلة (الوزن الذري
 للرصاص ٢٠٧.٢٢) ، وكذلك معادن الباريوم (الوزن الذري للباريوم
 ١٣٧.٣٦) .

ولا يوقف الوزن النوعي للمعدن على تركيبه الكيميائي فحسب ، بل
 كذلك على التركيب البلوري ، فيتغير تبعاً لطريقة رص الذرات المكونة له .
 فقد يكون الترتيب الذري للمعدن كثيفاً ، أي أن ذراته مترامجة في تقارب
 وأحكام في نظام مميز ، أو قد يكون غير كثيف الترتيب حيث توجد الذرات
 المكونة له في نظام رص متباعد ، فيتميز معدن الماس بوزن نوعي (٣٥٥)
 أكبر من الوزن النوعي لمعدن الجرافيت (٢٥٢) مع العلم بأن التركيب الكيميائي
 لكليهما واحد (عنصر الكربون) إلا أنهما يختلفان في التركيب البلوري ،
 فهو نظام مكعب في معدن الماس ونظام سداسي في معدن الجرافيت .

تعيين الوزن النوعي للمعادن : يمكن تعيين الوزن النوعي للمعادن بطرق
 عديدة يتوقف على حجم وخواص المعدن . والفكرة الأساسية في كل من هذه
 الطرق هو أن النقص في وزن جسم ما عند غمره في الماء يساوي وزن الماء
 المزاح ، أي يساوي وزن حجم من الماء مساو لحجم الجزء المغمور من الجسم .

فلو فرض أن $W =$ وزن الجسم في الهواء ، و $w =$ وزن الجسم في الماء ،
فإن النقص في وزن الجسم $= W - w =$ وزن الماء المزاح ، ويصبح

$$\frac{W}{W - w} \text{ الوزن النوعي لهذا الجسم}$$

ولإيجاد الوزن النوعي لمعدن ما يجب التأكد من نقاوته وخلوه من
الشوائب والتجديدات الهوائية التي قد ينشأ عنها إختلاف الوزن النوعي للمعدن
الواحد . وأم الطرق المستعملة في تعيين الوزن النوعي هي :-

(١) إستخدام الميزان الكيميائي العادى وذلك في بعض العينات المتوسطة
الحجم . وقد يسمان بنوع آخر من الموازين مثل ميزان « ووكر Walker
Jollys » للعينات الكثيرة الحجم ، أو ميزان « جولى الزنبركى
spring balance » للعينات الصغيرة .

(٢) طريقة قنينة الكثافة (بيكنوميتر Pycnometer) للقطع الصغير من
معادن الزينة . ويمكن إستخدام طريقة مماثلة مبسطة لتقدير كمية الماء المزاح
وذلك باستعمال مخبار مدرج .

(٣) إستخدام السوائل الثقيلة Heavy Liquids ذات الوزن النوعي
المعروف .

الخواص الحرارية

خاصية الانصهار Fusibility : هي خاصية هامة ، ثابتة الدرجة ومميزة
للمعدن الواحد إذا كان نقيا ، وتساعد كثيراً في التعرف على بعض المعادن .
فينصهر ملح الطعام عند 800°C ، النفضة 960°C ، الذهب 1063°C ، الكوارتز

ما بين ١٦٥٠° — ١٧٠٠° والبلاطين ١٧٥٥° م . ولبعض المعادن درجتي إنصهار مختلفتين مثل معدن الكبريت ، وبعضها الآخر يحول مباشرة إلى غاز دون أن يمر بحالة الانصهار مثل الزرنيخ .

الخواص المغناطيسية والكهربية والإشعاعية

الخواص المغناطيسية Magnetism : يتأثر كل من معدن ماجنيتيت ومعدن بيرويت (البارييت المغناطيسي - كبريتيد الحديد) Pyrrhotite بالقضيب المغناطيسي العادي ، وتجذب معظم المعادن الأخرى إلى المغناطيس الكهربائي Elcetromagnet بدرجات متفاوتة . وعادة ما تكون معادن الحديد مغناطيسية ولكن ليست هذه قاعدة ، فلا يجذب المهابيت مثلاً إلى المغناطيس العادي ، وأحياناً تكون بعض المعادن التي لا تحتوي على عنصر الحديد مغناطيسية مثل معدن مونازيت (فوسفات فلزات السيريوم) Monazite . وقد تكون بعض المعادن ذات مغناطيسية تأثيره « دياماجنيتيك » Diamagnetic ، أي تتنافر مع المغناطيس إذا قربت منه ، وذلك لأن مثل هذه المعادن تتأثر بالمغناطيس فتكتسب مغناطيسية مشابهة له وتتنافر معه ، مثل معدن كوارتز ، زيركون . وقد تجذب بعض المعادن الأخرى للمغناطيس وتسمى هذه الحالة مغناطيسية حديدية « باراماجنيتيك » Paramagnetic مثل معدن ماجنيتيت . وعلى أساس الخاصية المغناطيسية يمكن فصل المعادن بواسطة مغناطيس كهربائي ، فيمكن التحكم في قوة المغناطيسية الكهربائية وتغييرها إلى درجات متفاوتة بيسهل معها فصل المعادن ذات المغناطيسية المختلفة الدرجة ، كما هو المتبع مثلاً في تنقية معدن الماجنيتيت من الأباتيت ، ومعدن المونازيت من ماجنيتيت وجارنت .

الخواص الكهربية Electricity : قد تتولد شحنات كهربية في بعض المعادن نتيجة للاحتكاك أو الحرارة أو الضغط . وتختلف درجة التكهرب باختلاف المعادن ، ويستغل هذا التفاوت في درجة التكهرب لفصل المعادن القابلة للتكهرب بطريقة التصنيف الكهروستاتيكي Electrostatic separation process وتلخص هذه الطريقة في جعل المسحوق المجفف للخام يتساقط على اسطوانة حديدية مشحونة بالكهرباء أثناء دورانها ، فتتكهرب مكونات الخام بدرجات متفاوتة وبشحنات كهربية مماثلة لشحنة الاسطوانة الدائرة ، مما يجعل حبيبات الخام تنافر إلى أعلى بدرجات متفاوتة كذلك (على هيئة رذاذ مطر أو « دش » غثاف الشدة) يمكن معها إستقبال كل مجموعة متجانسة منفصلة على إنفراد .

وتعرف خاصية التكهرب الناتجة عن التسخين بالتكهرب الحرارى Pyroelectricity ، وتعرف خاصية التكهرب الناتجة عن الضغط بالتكهرب الضغطى Piezoelectricity ، وتولد في اتجاه المحور القطبي بلورات بعض المعادن مثل الكوارتز الذى يستخدم كثيراً في صناعة الأجهزة اللاسلكية .

الخواص الإشعاعية Radioactivity تمتاز بعض المعادن المحتوية على عناصر ذات وزن (عدد) ذرى عال بإصدار إشعاعات غير مرئية Radiations or emanations تؤثر في لوح فوتوغرافى حساس من نوع معين ، ويمكن إظهار هذه التأثيرات - الإشعاعية بطرق معينة في تحميمش اللوح الفوتوغرافى . وأهم العناصر المشعة هي اليورانيوم والثوريوم ، وأهم المعادن المشعة هي : بيتبلند Pitchblend ، أوتونيت Autunite . مونازيت Monazite ، ثوريت Thorite ، كارنوتيت Carnotite .

ويمكن الكشف عن المعادن المشعة بواسطة أجهزة خاصة حساسة للإشعاعات التي تصدرها هذه المعادن ، حيث يمكن تحويلها إلى طاقة صوتية يمكن سماعها وتقدير قوتها بالعدد مثل (عداد جايجر) Geiger counter ، أو بأجهزة أخرى تحول هذه الإشعاعات إلى طاقة يمكن رؤيتها .

التركيب الكيميائي للمعادن

يتكون المعدن إما من عنصر منفرد في حالة شبه نقية ويسمى معدن عنصري مثل الذهب والكبريت والجرافيت ، أو من عدة عناصر مختلفة متحدة حسب القوانين الكيميائية المعروفة ، فثلاً يتكون معدن بايرت من عنصري الحديد والكبريت بنسبه معينة ثابتة . وهناك بعض المعادن المائعة التركيب والتي تتكون من عدة عناصر يشابه بعضها فيما بينها لدرجة تسمح بإحلال عنصر محل آخر مشابه له ، كما هو الحال في مجموعات المعادن المتشكلة مثل مجموعة البلاجيوكلاز والأوليفين .

ويمكن التعبير عن التركيب الكيميائي للمعدن بالإستعانة بالرموز الكيميائية في هيئة قانون مبسط . ويبين القانون الكيميائي نوع العناصر المكونة للمعدن وكذلك النسبة التي تتحد بها هذه العناصر مع بعضها ، بمعنى أنه يوضح النسبة بين الأوزان الذرية لجميع العناصر المكونة للمعدن ، فمثلاً يعنى القانون الكيميائي لمعدن هاليت « ص كى » اتحاد ذرة من الصوديوم مع ذرة من الكلور ، أى اتحاد ٣٣.٠ جزءاً وزنياً من الصوديوم مع ٣٥.٤٦ جزءاً وزنياً من الكلور . ويعنى القانون الكيميائي لمعدن بايرت « ح ك ب » اتحاد ذرة من الحديد مع ذرتين من الكبريت ، أى أن ٨٤.٥٥ جزءاً من الحديد يتحد مع ٢ × ٣٦.٠٦ = ٦٨.١٢ جزءاً وزنياً من الكبريت .

ويطلب إستنتاج القانون الكيميائي للمعدن معرفة الوزن الكمي لكل من العناصر المكونة لوزن معين وثابت منه - (مادة ١٠٠ جزء وزني) - وبعبارة أخرى معرفة النسب المئوية لوزن كل من العناصر المكونة للمعدن ، ثم تقسم هذه الأوزان النسبية لكل عنصر على الوزن الذري الخاص به وذلك لتعيين نسبة عدد ذرات كل عنصر إلى الآخر . ثم يوضح القانون الكيميائي للمعدن بواسطة الرموز الكيميائية مع أبسط نسبة (أعداد صحيحة) لعدد ذرات كل من العناصر المكونة له . فلو أثبت التحليل الكيميائي لمعدن بورنيت Bornite أن :-

تحليل النوعي Qualitative Analysis	نخ	ح	ك
تحليل الكمي Quantitative Analysis : ٦٣.٦٣ ٪	١١.٥١ ٪	٢٥.٥٦ ٪	
الأوزان الذرية لهذه العناصر	٦٣.٥٧ :	٥٥.٨٤ :	٣٢.٠٦ :
نسبة الإتحاد <u>النسبة المئوية للوزن</u> الوزن الذري	٠.٩٤٤ :	٠.٩٩٨ :	٠.٧٩٢ :
وأبسط صورة لهذه النسبة	٥.٣ :	١٥.٠٠ :	٤٦.٠٠ :
أي أن نسبة عدد الذرات	٠ :	١ :	٤ :

أي أن هذا المعدن يتكون بإتحاد خمسة ذرات من النحاس (نخ) ، وذرة واحدة من الحديد (ح) مع أربعة ذرات من الكبريت (ك) ، ويوضح القانون الأول Empirical formula لمعدن بورنيت بالرمز (نخ ح ك) ، وأحيانا يصعب تعيين العناصر المكونة للمعدن في حالاتها المفردة ، وخاصة عند التحليل النوعي للمعادن ذات التركيب الكيميائي المعقد ، وفي مثل هذه الحالات يستعان بتقديرات النسبة المئوية لأكاسيد العناصر المكونة للمعدن ثم تقسم النسب المئوية على الأوزان الجزيئية لأكاسيدها لاستنتاج نسبة إتحاد الأكاسيد مع بعضها .

وأحيانا أخرى يزداد تعقيد التركيب الكيميائي للمعدن وخاصة في مجموعات المعادن المتشاكسة حيث يمكن إحلال عنصر محل آخر . وفي هذه الحالة يستعان بالنسب الثابتة لأوزان أكاسيد العناصر المكونة للمعدن ، والأوزان الجزيئية لها وإعتبار أكاسيد العناصر المتشابهة كأنها وحدة ، فمثلا أنهت متوسط التحليل الكيميائي لعينتين من معدن جارت Garnet أن : —

التحليل النوعي :	س١	لو١	ح١	ما	كا	م
التحليل الكمي : %	٣٨.٦٨	٢١.٢٠	٥.٥١	٣٠.٦٢	٥.٦٦	١.٩١
الأوزان الجزيئية :	٦٠.٦١	١٠.١٥	١٥.٩٦	٦١.٥٨	٤٠.٥٣	٥٦.٥١
نسبة اتحاد الأكاسيد :	٠.٦٤٤	٠.٢٠٨	٠.٣٠٠	٠.٤٢٥	٠.١٤٢	٠.٠٣٤

٠.٦٤٤ :	٠.٢١١ :	٠.٦٢١ :
رباعية التكافؤ	ثلاثية التكافؤ	ثنائية التكافؤ
النسب الجزيئية :	٣٠.٥ :	١٥.٠ :
وأبسط صورة لها :	٣ :	١ :
ويصبح ٣ (س١) (لو، ح)١ (ح، ما، كا، م)١	٣ (ح، ما، كا، م)١	٣ (س١، م)١
أو (لو، ح)١ (ح، ما، كا، م)١	س١، م	هو القانون
الكيميائي لمعدن جارت (عينة ألمانديت Almandite) :		

وتستخدم هذه الطرق الدقيقة لتحديد التركيب الكيميائي للمعادن غير المعروفة أو التي يصعب التعرف عليها بواسطة بعض الخواص الطبيعية الثابتة المميزة . ومادة ما يمكن الاستغناء عن جزء كبير من هذه التحليلات أو تسهيلها وذلك في حالة ما إذا أمكن التعرف على المعدن بواسطة خواصه الطبيعية الظاهرة ، مثل الصلادة ، البريق ، الوزن النوعي والأقسام ، إلى درجة تسمح

بتحديد مكانه أو وضعه بين أفراد قلائل من المعادن المشابهة ظاهرياً . ويمكن حينئذ إجراء بعض التجارب البسيطة السريعة لتحديد نوع العناصر الأساسية المكونة للمعدن . وقد تسبق هذه التجارب بعض المحاولات للاحظة ما إذا كان المعدن قابل للذوبان في الماء ، أو يتفاعل مع حامض مع حدوث فوران ، أو ما إذا كان كان يصهر بسهولة أو بصعوبة ونوع الغاز المتصاعد عند التسخين ، أو إذا كان يغير لون اللهب ... الخ . وتتطلب هذه التجارب بعض الأجهزة البسيطة مثل مصباح بنزن ، أنبوبة تقطير ، بروري ، Blowpipe ، مكعبات فحم (charcoal blocks) ، ملقط Forceps ، أنابيب زجاجية ذات طرف واحد مفتوح أو مفتوحة الطرفين ، ساك بلاتين Platinum wire ، مطرقة أو شاكوش وبعض المواد الكيميائية .

الكيمياء البلورية

من البديهي أن تتوقف صفات المادة على التركيب الكيميائي لها وأن هذه الصفات تتغير حسب تغير التركيب الكيميائي ، ولكن أحياناً توجد بعض معادن مختلفة إلى حد ما في جميع صفاتها ، سواء الطبيعية منها أو الكيميائية ، بالرغم من أنها ذات تركيب كيميائي واحد مثل الماس والجرانيت . والمعروف أن كل مركب كيميائي يتبلور يتميز بنوع خاص وثابت من التركيب الذري البلوري Crystal Atomic Structure ، ومن هذا يمكن استنتاج أن الخواص الكيميائية والطبيعية لبلورات المعادن لا تتوقف على التركيب الكيميائي فحسب بل كذلك على التركيب الذري البلوري . ويجوز أن يكون التركيب الذري البلوري لمادة ما على ما يلي :

- (١) الترتيب الفراغى Space lattice للذرات أو الأيونات أو الجزيئات فيها.
 - (٢) طريقة الرص Close packing أو درجة التقارب بين مكوناتها .
 - (٣) قوى الرباط الكيميائى Chemical bonds بين مكوناتها .
- ولا يتسنى المجال هنا لدراسة التركيب الذرى البلورى والخواص الكيميائية البلورية للمعادن ، ويمكن الإطلاع على بعض المراجع الأخرى المتخصصة *
فى هذا الموضوع .

تصنيف المعادن

توجد عدة طرق مختلفة لتصنيف المعادن تعتمد كل منها على أسس معينة .
وقد قدم العالم نيجلى Niggli التصنيف البلورى الكيميائى Crystal - chemistry classification الذى يعتمد على الخواص الكيميائية البلورية . أما العالم ريد Read فقد تقدم بطريقة ثانية لتصنيف المعادن إلى مجموعات تعتمد أولاً على القيمة الاقتصادية للعناصر الأساسية المكونة لها بالرغم مما قد يكون فيما بينها من تباعد بلورى أو كيميائى أو يثنى ، ثم صنف أفراد هذه المجموعات على نظام معين مقيماً فى ذلك الترتيب الدورى للعناصر المكونة لهذه الأفراد ، وهذا هو التصنيف الإقتصادى Economic chemical classification . والطريقة

(١) دغلول ، م. ز. ، ١٩٦٥ - ٥ - علم البلورات (طبعة ثانية) ، دار الحاسن للطباعة - القاهرة .

(٢) حلمى ، م. ح. ، ١٩٦٤ - علم المختلطة (طبعة ثانية) ، مكتبة الانجلو المصرية - القاهرة .

(٣) الشناوى ، م. ح. ، ١٩٦١ - مقدمة فى علم البلورات والمعادن والمختلطة (طبعة ثانية) دار المعارف .

الشائعة هي التصنيف الكيميائي (Chemical classification) التي تقدم بها العالم الأمريكي ج. د. دانا J. D. Dana وهي التي تستخدم على نطاق واسع . وتعتمد هذه الطريقة على نوع الشق الحامض في تركيب المعادن، وبذلك أمكن تصنيفها إلى مجموعات مختلفة مثل الأكاسيد ، الهالوجينات (كلوريدات - فلوريدات) ، الكبريتيدات ، الكربونات ، الكبريتات ، الفوسفات ، السيليكات . ومن أهم مميزات هذا التصنيف أن أفراد المجموعات التي تحتوي على شق حامض مشترك تتشابه فيما بينها تشابهاً كبيراً يفوق التشابه الذي قد يوجد بين أفراد المجموعات التي تحتوي على شق قاعدي مشترك ، فمثلاً تتشابه أفراد مجموعة الكبريتات بدرجة أكبر من تشابه معادن الحديد أو النحاس فيما بينها ، وذلك لأن المجموعات الأنيونية Anionic groups (٢-٩) ، كل^{-١} ، فل^{-١} ، (ك^{-١})^٢ ، (ك^{-١})^٣ ... أي الشق الحامض يتكون من عناصر كبيرة الحجم نسبياً (ذات نصف قطر ذري كبير) ويميل إلى التحكم في نظام التبعية أو طريقة رص الذرات في الترتيب الفراغي ، وبذلك يصبح هو المسؤول أساساً عن الخواص الكيميائية والبلورية للمعادن . وليس هذا فحسب ، بل أن أفراد المجموعات ذات الشق الحامض المشترك قد تتواجد في بيئات جيولوجية - أي ذات نشأ Paragenesis - متشابهة إن لم تكن موجودة ، فقد لوحظ أن المعادن الكبريتيدية تتكون مجتمعة مع بعضها في عروق ورواسب المحاليل الحارة أو أننا ، عملية التمايز في المرحلة الأولى من تصلد الصهير (مرحلة الصهير القوي) ، في حين تتكون أفراد المجموعات ذات الشق القاعدي المشترك تحت ظروف وبيئات جيولوجية عديدة مختلفة .

تصنف المعادن على أساس الشق الحامض المكون لها إلى أقسام تسمى « نظم » Classes ويحتوي كل نظام على مجموعات أصغر، مختلفة فيما بينها ولكنها

متشابهة في صفة مشتركة هي نوع الشق الحامض وتسمى هذه المجموعات الصغيرة عائلات Families ، يتكون كل منها من أفراد مختلفة تسمى أنواع Species وقد تشابه بعض أنواع العائلة الواحدة في صفاتها وتسمى حينئذ «مجموعة» Group أو «متسلسلات» Series . وتكون النوع من عدة أصناف أو عيّنات Varieties مختلفة فيما بينها إلى حد ما ولكن تجمعها مع بعضها الصفات النوعية .
ونفا على موجز مبسط لهذا التصنيف :

٦ المعادن المتصرفة Native Minerals

أ - المعادن المتصرفة الفلزية Native Metals : مثل الذهب (ذ) والفضة (ف) والفضة (ف) والفضة (ف) والفضة (ف) .

ب - المعادن المتصرفة اللافلزية Native Non-metals : مثل الكبريت (ك) والاس (ك) والجرافيت (ك) .

٢ - المعادن الكبريتيدية والأملاح الكبريتية Sulfides and Sulfosalts

أ - المعادن الكبريتيدية : أرجينيت (ف، ك) Argentite ،

كالكوسيت (ف، ك) Chalcocite ، بونيت (ف، ك) Bornite ،

كالكوپيريت (ف، ك) Chalcopyrite ،

بايريت (ح، ك) Pyrite (مكعب) ،

ماركازيت (ح، ك) Marcasite (معيني قائم) ،

جالينا (ر، ك) Galena ، سفاليريت (ف، ك) Sphalerite ،

سنابر (ي، ك) Cinnabar كبريتيد الزئبق

ريالجر (ز، ك) Realger كبريتيد الزرنيخ

- Orpiment (زہ کبہ)
- Arsenopyrite (ح ز کبہ)
- Stibnite (نتہ کبہ)
- Molybenite (موکبہ)

ب۔ الاملاح الکبریتية Sulfosalts : هي کبریتات مزدوجة تتكون
باتحاد فلز وشبه فلز (الزئبق والأتیمون) مع الکبریت مثل معدن
تترامیدریت (غ، ح، خ، ی)، تت کبہ Tetrahedrite

(٣) معادن الأكاسيد Oxides

١- اکاسيد فلزات لاعالية Non-hydrated Metal Oxides :-

- Hematite (ہماتیت ح، ا، پ)
- Magnetite (ماجنیتیت ح، ا، پ)
- Ilmenite (ایلینیت ح ق، ا، پ)
- Chromite (کرومیت ح ک، ا، پ)
- Zincite (زنکیت خ، ا، پ)
- Cuprite (کوبریت غ، ا، پ)
- Rutile (روتیل ق، ا، پ)
- Corundum (کوراندوم لو، ا، پ)
- Pyrolusite (پایرولوسیت م، ا، پ)
- Cassiterite (کاسیتریت ق، ا، پ)
- Uraninite (یورانینیت یو، ا، پ)

اکاسید سیلیکون (س، ا، پ) مثل کواوترز Quartz

ب۔ اکاسيد فلزات عالية Hydrated Metal Oxides :

- Goethite (جوہیت ح، ا، پ - ی، ا، پ)
 - Manganite (مانجائیت م، ا، پ - ی، ا، پ)
- اکاسید سیلیکون عالية (س، ا، پ - ی، ا، پ) مثل اوبال لعون .

٤ (معادن الهالوجينات (الهاليدات Haloids

هاليت (ص كل) Halite ، فلوريت (كال فل) Fluorite ، كربوليت
(ص ٣ لو فل) Cryolite .

٥ (معادن الكربونات والنترات والبورات

أ - الكربونات Carbonates مثل مجموعة الكالسيت (ثلاثي) :

كالسيت (كال ا) Calcite ، دولوميت - كاما (ل ا) Dolomite
ماجنتيت (ما ل ا) Magnesite ، سيدبريت (ح ل ا) Siderite
مجموعة أراجونيت (معنى قائم) :

أراجونيت (كال ا) Aragonite ، ويندبريت (بال ا) Witherite
سترونشيانيت (ست ل ا) Strontianite
سيريسيت (ر ل ا) Cerussite

مجموعة المالاكيت (أحادي الميل)

مالاكيت (ل ا) - (يد ا) Malachite
أزوريت (ل ا) - (يد ا) Azurite

ب - النترات Nitrates : مثل نتر الصودا (ص ٣) Soda Niter .

ج - البورات Borates : مثل كوليمانيت (كال ب ١١ - ١٠ يد ا)

Colemanite ، كيرنيت (ص ٣ ب ا - ٤ يد ا) Kernite ، بوراكس

(ص ٣ ب ا - ١٠ يد ا) Borax .

٦) معادن الكبريتات - الكرومات - الموليبدات - التنجستات

١ - معادن الكبريتات : Sulphates

كبريتات لأمائية (مجموعة الباريات - فصيلة المعيني المتعاند) :-

أنهيدريت (كا ك ب ١) ، Anhydrite ، سيليسيت (ست ك ب ١) ، Celestite ،

باريت (با ك ب ١) ، Barite ، أنجليزيت (ر ك ب ١) ، Anglesite .

كبريتات مائية : Hydrus Sulphates

جبس (كا ك ب ١ - ٢ ي ١) ، Gypsum

كالكانثيت (نغ ك ب ١ - ٥ ي ١) ، Chalcantinite

ملانتريت (ح ك ب ١ - ٧ ي ١) ، Melanterite

إسوميت (ما ك ب ١ - ٧ ي ١) ، Epsomite

ب - معادن الكرومات Chromates : مثل كرومكوزيت (ر ك ر ١)

. Crocoisite

ج - معادن الموليبدات Molybdates : مثل وولفييت (ر م و ١)

. Wulfenite

د - معادن التنجستات Tungstate : مثل ولفراميت (ح ، م) تن ١ ،

Wolframite ، ومنغن شيليت (كا تن ١) ، Scheelite .

٧) معادن الفوسفات - الزرنيخات - التانتات

١ - معادن الفوسفات Phosphates : . مونازيت (سر ، لن ، نو) ، فوا ١

Monazite ، أبانيت كا (فل ، كل ، يدا) (فوا ١) ، Apatite ، توركواز

نغ لو ١ (فوا ١) ، ٨ يدا ١ - ٩ يدا ١ ، Turquoise ، توربرنيت نغ (يو ١) ،

(فوا ١) ، ٨ + ١٢ يدا ١ ، Torbernite ، أوتونيت كا (يو ١) ،

Autunite (فوا ١) ، ٨ + ١٢ يدا ١

ب - معادن الفانادات : Vanadates فاناديت كل (٦ أ) Vanadinite

كارنوتيت (٦ ب) ، (٦ أ) ، + ٣ ب ، Carnotite

٨ معادن السيليكات Silicates

تتكون هذه المعادن من وحدة (س أ) - في هيئة رباعي الأوجه ، مكونة من ذرة سيلكون في المركز وتحيط بها أربع ذرات من الأكسجين في كل من الأركان الأربعة لشكل رباعي الأوجه . ويرتبط هذه الوحدة مع وحدة أخرى أو أكثر لتتبع أنواع مختلفة من السيليكات .

١) مجموعة رباعي الأوجه المستقلة (س أ) Independent

tetrahedral group : تتكون بلورات هذه المعادن من وحدات (س أ) (شكل ١٨) مرتبطة ببعضها بواسطة كاتيونات أخرى مثل الماغنسيوم والحديد ، ومن أمثلة هذه المعادن : —



وحدة رباعي الأوجه
(س أ) - ٨

(شكل ١٨)

أوليفين (ماء ح) ، س أ

Olivine ، جارت (سيليكات

أيونات ثنائية وثلاثية التكافؤ)

Garnet ، غزيروكون (كن س أ)

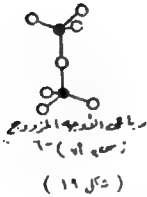
Zircon ، توباز (لو) ، (قل و يد)

س أ ، Topaz ، أيدالوسيت

(لو س أ) Andalusite ، سيلينيت (لو س أ) Sillimanite

كاليكيت (لو س أ) Kyanite ، شتوروليت (لو) ، (ح ، يد) (لو س أ) ،

Staurolite ، ستين (كأ ق س أ) Sphene



٢) مجموعة رباعي الأوجه المزدوجة :

double tetrahedral group S_4^{2-}

تتكون أفراد هذه المجموعة بإشتراك وحدتين

من (S_4) في ذرة أكسجين (شكل ١٩)

وتتكرر هذه الوحدة المزدوجة بإرتباطها

بواسطة كاتيونات أخرى كما في معدن

هيمورفيت خ_١ (ي_١ س_٢ أ_٢ - ي_٢ أ_٢ Hemimorphite .

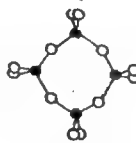
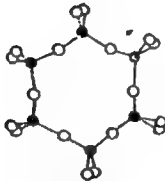
٣) مجموعة رباعي الأوجه الحلقية : Ring Structure

أ - حلقه ثلاثية Trigonal Ring (S_3) وتكون بإشتراك ثلاث

وحدات (S_3) (شكل ١٩ - أ) مثل معدن :

بنيتويت باقى (س_٣ أ_٣) Benitotite ، رودونيت (س_٣ أ_٣) Rhodonite

ولاستونيت (ك_٣ أ_٣) Wallastonite .



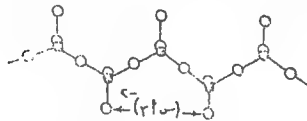
(شكل ٢٠)

ب - حلقة سداسية Hexagonal Ring (س. ١١٠) : تتكون أفراد هذه المجموعة من ترابط ست وحدات (س. ١٠٠) شكل (٢٠ - ح) تتراص في هيئة حلقات فوق بعضها في أعمدة ، وتتربط هذه الحلقات ببعضها بواسطة كاتيونات أخرى ، مثل :

معدي بيريل (بل. لو. س. ١٨) Beryl ، تورمالين (سيليكات البورون والالومنيوم + ص ، ح ، ما ، ليثيوم) Tourmaline ، كورديريت (ما. لو. س. ١٨) Cordierite .

٤ - مجموعة رباعي الأوجه السلسلية Chain Structure وتشمل :-

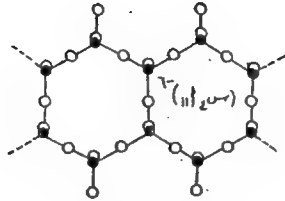
أ - ترابيك سلسلية مفردة (شكل ٢١) Single Chain (س. ١٠٠) : كما في معادن البيروكسينات Pyroxenes مثل : أكتينيت (س. ١٠٠) Enstatite ، هيرلين (ما ، ح) ، س. ١٠٠ Hypersthene ، دايوبسيد (كا ، ما) ، أوجيت (كا ، ما ، ح ، لو) (لو ، س) ، Augite ، Diopside .



سلسلة مفردة

(شكل ٢١)

ب - ترابيك سلسلية مزدوجة (س. ١٠١) Double Chain :



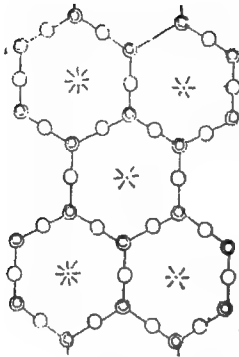
سلسلة مزدوجة

(شكل ٢٢)

وتنتج من ترابط سلسلتين باقتسام ذرات الأكسجين بينهما عند مسافات منتظمة (شكل ٢٢) كما في معادن الأمفيولات Amphiboles مثل تريبوليت كما ٢٨ س ٢٢ ما ٢٢ (يدا ١) Tremolite ، هورنبلند (سيليكات معقدة كـ ، ح ، ما ، يدا ١) Hornblende .

ج - تراكيب سلسلة رباعية Quadruple Chain . تتكون من ترابط أربعة سلاسل باقتسام ذرات الأكسجين بينها مثل معدن إبيدوت كما (لو ، ح) ٣٢ س ١٢ (يدا ١) Epidote .

٥ (مجموعة رباعيات الأوجه الصفائحية Sheet Structure : تتكون من إرتباط وحدات (س ١) عند ثلاثة أركان من كل منها وتمتد في اتجاهين قوة توجيه . كبرقار هشة صفائح لانهائية Endless Sheets (س ١) ١٠ (شكل ٢٣) وتشمل :



١ - معادن الميسكا

ماسكوفيت $\text{H}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ (يدا ١)

Muscovite ، بابوفيت $\text{H}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ (يدا ٢)

لوسم $\text{H}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ (يدا ٣)

ب - معادن الكلوريت

كلوريت $\text{H}(\text{AlSi}_2\text{O}_5)$ (لو، ح ١)

س $\text{H}(\text{AlSi}_2\text{O}_5)$ (يدا ٢) Chlorite ، سريتيت

ما $\text{H}(\text{AlSi}_2\text{O}_5)$ (يدا ٣) Serpentine

تركيب ستافى (س ١، ٢، ٣)

ج - معادن التالك

تالك ما $\text{H}(\text{AlSi}_2\text{O}_5)$ (يدا ٣) Tale

(شكل ٢٢)

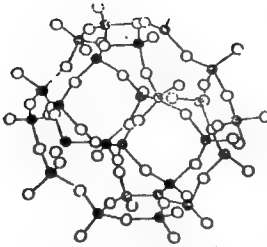
د - المعادن الطينية مثل كاولينيت $\text{H}(\text{AlSi}_2\text{O}_5)$ Kaolinite

٦ - مجموعة رباعي الأوجه الشبكي ذو الأبعاد الثلاثة Three-dimensional Network

تتكون أفراد هذه المجموعة نتيجة إرتباط رباعيات الأوجه (س ١) بعضها بعض عند أركانها الأربعة (شكل ٢٤) ، بمعنى أن كل ذرة أكسجين تقسم بين اثنين من وحدات رباعيات الأوجه وتكون نسبة السيليكون للأكسجين فيها (٢ : ١) ورمز التركيب (س ١) Si_2O_5 وتشكل هذه المجموعة .

١ - أكتايد السيليكون (س ١) مثل معدن كوارتز Quartz

تريدمايت Tredimite وكريستوباليت Cristobalite



تركيب شبيكة (س١٣) هـ

(شكل ٢١)

ب - معادن الفلزيارات

Felspars ومنها :

١١ فلزيارات بوتاسية

مثل Potash Felspars :

أرتوكلاز بوتاس KAlSi_3O_8

Orthoclase (أحادي الميل)

ميكروكلين بوتاس KAlSi_3O_8

Microcline (ثلاثي الميل)

٢ فلزيارات بلاجيوكلازية (فلزيارات الكالسيوم والصوديوم)

مثل - أنورثيت كالوم $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ، Anorthite ، بايوتيت Bytownite

لابرادوريت Labradorite أنديزين Andesine ، أوليجوكلاز Oligoclase

أليت ص لوس $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ Albite

ج - معادن فلزياتويدز Felspathoids ونشبه الفلزيارات إلا أنها

أفقر منها في كمية السيليكا مثل لوسيت بوتاس $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ Leucite

د - معادن الزيوليت Zeolites : وهي سيليكات الألومنيوم والصوديوم

وتحتوي على نسبة كبيرة من الماء :

الرواسب المعدنية

أصل المعادن وتجمعاتها وظهورها في الطبيعة

تبين هذه الدراسة في طريقة تكوين الرواسب المعدنية من حيث أصلها Origin وكيفية نشأتها وتجمعاتها Paragenesis ، وظهورها في الطبيعة Occurrence .

تختلف المعادن اختلافاً بينا فيوقف على أصلها ، فبعضها من معبور صخري « صهير أو ماجما Magma » وبعضها من محاليل ، وقد ينشأ البعض الآخر من أصل غازي ، أو من مادة صلبة سبق تكوينها ثم اضطرت إلى التغير أو التحول نتيجة لتغير الظروف الطبيعية المحيطة بها . وتتكون المعادن في تجمعات طبيعية مميزة تدل دلالة واضحة على أصلها وكيفية نشأتها ، فالمعادن المكونة لإحدى التجمعات مرتبطة ببعضها ارتباطاً وثيقاً في أصلها وبيئتها ، وغالباً ما تعبر تعبيراً صادقاً عن نشأتها من أصل واحد ، أي من مكونات متشابهة العناصر ، بل تعبر كذلك عن ظروف بيئة أي ظروف نشأة واحدة ، فنلاحظ تجمع معادن أباتيت ، فلوريت ، توباز ، تورمالين على أنها نشأت من أصل يحتوي على عناصر الفوسفور والبورون والفلور والكبريت ، وأنها تكونت تحت درجة عالية من الحرارة والضغط ، في حين أن تجمعها من معادن الكبريتيدات مثل بايريت ، ستينيت (نم ك ب) Stibnite وأرجينيت (نم ك ب) Argentite تدل دلالة قاطعة على أنها نشأت من أصل يحتوي على عنصر الكبريت بجانب عناصر أخرى ، تحت ظروف متوسطة من الحرارة والضغط . وتتكون الرواسب المعدنية بطرق مختلفة أهمها ما يلي .

تكون للمعادن من الصهير أو الحمم

الصهير عبارة عن سائل صخري منصهر ، معقد التركيب ، قليل القوام ولزج للدرجة تسمح بهحرك العناصر المكونة له بحرية في درجات الحرارة العالية ، ويوجد على أعماق بعيدة تحت سطح القشرة الأرضية . وأما الحمم أو اللافا Lava فهي سائل صخري منصهر يظهر على سطح الأرض متدفقا من فوهات البراكين الثائرة . ويتوقف نوع المعادن الناتجة من الصهير على تركيبه الكيميائي . ويتكون الصهير بحلة عامة من :

١) مكونات غير طيارة Non-volatile constituents . ذات درجة انصهار عالية تزيد على ٩٠٠°م ، وتكون ٩٩ ٪ من هذه المواد من أكاسيد سبعة : أحدها حصى وهو ثاني أكسيد السيليكون (سيليكا) ويوجد بنسبة عالية جداً تتراوح ما بين ٣٥ ٪ إلى ٧٥ ٪ من مجموع المكونات غير الطيارة . وأما باقي الأكاسيد فهي قلوية وتشمل أكسيد الألومنيوم (لوم ، أ ، صفر - ٢٥ ٪) وأكاسيد الحديد وزوالخديريك (ح ، أ ، ح ، أ ، صفر - ٢٠ ٪) وأكسيد الماغنسيوم (ص ، أ ، صفر - ٤٥ ٪) وأكسيد الكالسيوم (ك ، أ ، صفر - ٢٠ ٪) وأكسيد الصوديوم (ص ، صفر - ١٦ ٪) وأكسيد البوتاسيوم (ب ، أ ، صفر - ١٢ ٪) . ولا توجد كل هذه الأكاسيد مجتمعة في كل ما جاء ، فالصهير القلوي السيليكا والألومينا والقلويات « صوديوم - بوتاسيوم » عادة ما يكون فقيرا في أكاسيد الكالسيوم والماغنسيوم والحديد . وتكثر الأكاسيد الثلاثة الأخيرة في الصهير الفقير في السيليكا والألومينا والقلويات .

٢) مكونات طيارة Volatile constituents : مثل الكلور ، الكبريت ،

البورون ، الكبريت ، بخار الماء وثاني أكسيد الكربون ، وتوجد بكميات ضئيلة جداً في أنواع الصهير المختلفة ، ولكن قد تزداد كمياتها نتيجة تركيزها أثناء تصلد الصهير . وهذه المواد الطيارة ذات أهمية بالغة في تكوين الركاز «خامات المعادن Mineral ores» . وتكون المواد الطيارة مع بعض المواد غير الطيارة الأخرى الثانوية ما يعادل ١٪ فقط من الصهير .

عند ما يبرد الصهير يبدأ في التصلد والبلور باتحاد واحد أو أكثر من الأكاسيد القاعدية مع السيليكات الحمضية تحت ظروف مناسبة من الحرارة والضغط ليكون معادن السيليكات . ويتوقف نوع معادن السيليكات الناتجة على تركيب الصهير ، فذلك الغنى أصلاً بالسيليكات والألومينا والفلويات يكون معادن الفلسبارات والكوارتز والاسكوفيت ، بينما تنتج المعادن الحديدية ومغنيسية مثل الأوليفين ، البيروكسينات ، الأمفيبولات والبايوتيت من صهير غنى أصلاً بالسيليكات وأكاسيد المغنسيوم والحديد والكالسيوم ، أما الصهير الغنى بالفلويات النقية في السيليكات فإنه يعطى معادن ذات نسبة عالية من الفلويات تسمى المعادن الفلصباتية Felspathoids مثل فيجيلين (مس لوس أ) Nepheline ، لوسيت (بولوس أ) Leucite .

تصلد الصهير

يصلد الصهير في مراحل مختلفة كما يلي :

(١) مرحلة الصهير التوهم Orthomagmatic stage : وتبدأ بعملية انفصال أو تمايز Segregation لبعض الفلزات ، والأكاسيد الفلزية وبعض الكبريتيدات الفلزية الصعبة الذوبان أو الامتزاج في الصهير . ويتبع عن عملية التمايز تركيز المواد ذات الأهمية الاقتصادية في رواسب معدنية تحتوي على

الفلزات مثل الذهب والبلاتين ، والأوكاسيد مثل معدن ماجنتيت ، إلخ
(ح ق إ) Ilmenite ، كروميت (ح ك ر إ) Chromite ، والكبريتيدات
مثل معدن كالكوبالريت (ن ح ك ب) ، ومعدن بيرويت (ح ك ب)
Pyrrhotite . وتسمى هذه المعادن مادة بالمعادن الإضافية Accessory minerals
حيث أنها تكون جزءاً صغير جداً بالنسبة لكتلة الصهير ، وتسمى المعادن
السيليكاتية معادن أساسية Essential minerals لأنها تكون ما يقرب من
٩٩ ٪ من الصهير . وبانخفاض درجة حرارة الصهير تبدأ المعادن الأساسية في
التبلور حسب نظام معين :

فتبلور أولاً المعادن القاعدية ، الفقيرة في السيليكا وذلك لأنها أقل ذوباناً
من غيرها ، ثم تليها المعادن الأقل قاعدية المحتوية على نسبة كبيرة من السيليكا
ثم الأكثر حمضية التي تحتوي على نسبة قليلة من العناصر القاعدية . ونعرف
هذه العمليات الانفصالية لمعادن السيليكات أثناء تبلود الصهير بالتبلور التوحي
Crystallization differentiation أو التبلور العجزى Fractional crystallization

(شكل ٢٥) فثلاً عند تبلود صهير متوسط التركيب تبدأ معادن
السيليكات الحديدية وفغنية Femic - المحتوية على نسبة عالية من عناصر
الماغنسيوم والحديد - في التبلور مثل معادن مجموعة الأوليفين (سيليكات
الحديد والماغنسيوم) ، تليها معادن الفلسبارات البلاجيوكلازية ، وتبدأ هذه
بالمعادن الغنية بالكالسيوم «أنورتيت» وهو أكثر قاعدية من البلاجيوكلاز
الصوديومى ، ثم ندرج إلى المعادن البلاجيوكلازية الفقيرة في الكالسيوم
والغنية في الصوديوم (أليت) . وقد تترسب في نفس الوقت معادن

البيروكسينات وهى سيليكات الألومنيوم والمغنسيوم والحديد والكالسيوم مثل أنستاتيت Enstatite ومعادن أرجيت ، ثم تلى البيروكسينات فى عملية التبلور النوعى معادن الأمفيولات وهى سيليكات الألومنيوم والكالسيوم والحديد والمغنسيوم والماء (أهدروكسيد) مثل معدن هورنبلند . ويجمع ذلك معادن الميكا معدنية بمعادن الميكاسوداء المحتوية على حديد ومغنسيوم مثل بايوجيت . (سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم والحديد والمغنسيوم والماء) ثم الميكاليت الخالية من الحديد والمغنسيوم مثل ماسكوفيت . (سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم والماء) . وفى ذلك الوقت الذى تنفذ فيه كمية العناصر القاعدية (المغنسيوم والحديد والكالسيوم) من الصهير تبدأ المعادن الأقل قاعدية ، الخالية من هذه العناصر والمحتوية على تتروبات (الصوديوم والبوتاسيوم) ، فى التبلور ، فتبدأ بالبلاجيوكلاز الصوديوم مثل أوليجوكلاز وأليت (سيليكات الألومنيوم والصوديوم) ثم معادن التلسبارت البوتاسية مثل معدن أرتوكلاز و ميكروكلين (سيليكات ألومنيوم وبوتاسيوم) . ويصبح الصهير بعد ذلك خاليا من كل أكاسيد العناصر انقاعدية فتزداد درجة الحموضة نسبيا بازدياد السيليكات ويبدأ معدن الكوارتز فى التبلور . وإتمامها مرحلة الصهير القويىم - التى يتم فيها تمايز بعض الغازات وأكاسيدها وكبريتاتها ، ثم انفصال بقية المواد غير الطيارة بالتبلور النوعى - يصحب الصهير المتبقى غنيا فى المكونات الطيارة ، والمواد الصاهرة Fluxes . وتتكون للواد المختلفة عن المرحلة الأولى من جزئين : جزء سائل أقل ثروبة عن المرحلة السابقة ويعرف بالمرحلة اليجمايتية Pegmatitic stage ، أما الجزء الآخر فيشمل الغازات والأبخرة والمواد الطيارة ويكون المرحلة الغازية Pneumatolytic stage .

أرنو كلاز

أوليغو كلاز / كوارتز

محاسب للمعهد
الحارة

صخرة حمضية (جرانيتي)
Granitic-magma

أمفيولات / يوبيت

أنديزيت

صخرة متوسطة (دايوريتي)
Dioritic-magma

بيروكسينات أمفيولات

بلاجيو كلاز قاعدى
أنورثيت / لابرادوريت

صخرة قاعدى / جابرو ماجما
Gabbro-magma

بيروكسينات / أوليفين

معادن إضافية
(نحو السيليكات)

معادن خفيفة:
« سيليكات »

معادن ثقيلة:
(حديدو ماغنيسية)

(شكل ٢٥) شكل تخطيطى، يوضح فكرة التبدل النوعى للمعهد. اختلف القركيه

(٧) المرحلة الليجائيتية : يتكون الصهير في هذه المرحلة من الجزء السائل الذي يزداد فيه تركيز بعض العناصر الإضافية (غير الأساسية بالنسبة للصهير كله) التي تشترك في تكوين بعض المعادن القيمة. ويؤدى اغتناء هذا الجزء السائل بالمواد الصاعدة إلى نمو بلورات المعادن في هذه المرحلة إلى أحجام كبيرة تسمح باستغلالها. وتزداد درجة سيولة الصهير في هذه المرحلة بحرية التحرك لمكوناته، إذ غالباً ما يمزو السائل الليجائيتي الفراغات والشقوق ويتسرب بين مستويات الكسور إلى الصخور المحيط به - وقد يتمرب إلى مسافات بعيدة - حيث تقل درجة حرارته وتبدأ مكوناته في البلور ببطء، فتتجمد بذلك بلورات ذات حجم كبير لمعادن ذات قيمة اقتصادية مثل الفلسبار والكوارتز والميكا ومعادن الزينة مثل التوباز (الزمرد) والأباتيت والتورمالين.

(٨) المرحلة الغازية : وهى مرحلة الغازات المتبقية بعد المرحلتين السابقتين من تصلد الصهير، وتتكون من غازات وأبخرة حارة نشطة ومواد طيارة قوية التفاعل - وتتمرب هذه الغازات باحتة عن منفذ لها بين الشقوق والفواصل والتوالق والكسور والمسام في صخور المكان Country rocks أى المحيطة بالصهير، حيث تتعرض للبرودة، وتتفاعل مع بعضها وكذلك مع الصخور المحيطة بها، أو قد تتفاعل مع المعادن التى قد سبق تكوينها من تصلد الصهير في مرحلتيه السابقتين، فتكون معادن أخرى مميزة لهذه المرحلة مثل :

١- معادن كاسيريت (ق ١)، و لفراميت (تجسبات الحديدوز ج ٢) ق ١، Wolframite - يتفاعل الفلور (أحد المكونات الطيارة للصهير) مع القصدير مكوناً فلوريد القصدير (ق فل)، وهذه مادة طيارة سهلة التسرب والهروب من الصهير، ثم تتفاعل مع الماء في درجة حرارة منخفضة ويتبع

عن هذه التفاعل أكسيد التيتانيوم (معدن الكاسيتريت) وحامض فلورودريك (يد قل) الذى يتفاعل بدوره مع الصخور الجيرية المجاورة ليكون فلوريد الكالسيوم وهو معدن فلوريت ، ولهذا غالبا ما يوجد معدن الكاسيتريت محتويا بمعدن الفلوريت أو مجاورا له .

ب - معدن التيتانيوم : يتفاعل غاز الكلور مع التيتانيوم الذى قد يوجد فى الصهير فينتج كلوريد التيتانيوم (تى كل) الطيار الذى يتفاعل مع الماء وينتج عنه حامض كلورودريك وأكسيد التيتانيوم (تى أ) مثل معدن الروتيل ، أناثاز ، بروكيت .

ج - معدن الفوسفور : مثل أبانيت . (فوسفات وكلوريد أو فلوريد الكالسيوم) ، والمعادن الحاوية للورون مثل معدن تورمالين (بوروسيليكات الألومنيوم والحديد والمغنسيوم والكالسيوم) ، والمعادن الحاوية للفلور مثل توباز (فلوروسيليكات الألومنيوم) . ومن الجدير بالذكر أن بعض الغازات الطيارة قد تتفاعد من فوهات البراكين النائرة وقت اندجارها فلا تلبث أن تبرد وتتجمد بسرعة نتيجة الإنخفاض المفاجئ . فى درجة الحرارة والضغط الواقع عليها فتترسب مباشرة حول فوهات البراكين حيث توجد معدن الكبريت وأحيانا هاليت وملح الأمونيا (ن يد كل) Sal-ammoniac ، وحامض البوريك .

٤) مرحلة المحاليل المائية الحارة Hydrothermal stage : وهذه آخر مرحلة فى تفاعل الصهير حيث يصبح الجزء المتبقى منه محلولاً مائياً حاراً جداً ذا نشاط كيميائى كبير ، ولذلك فهو قادر على إذابة وحمل معظم المركبات الفلزية ذات القيمة الاقتصادية . وتتسرب هذه المحاليل الحارة بما تحملها عبر

الشفوق والتواصل والتجوات وقد تحصل إلى مسافات بعيدة عن مصدرها ،
وهناك تبدأ في تفريغ شحنتها وترسيب ما تحمله من محاليل معدنية مختلفة نتيجة
للبرودة وانخفاض الضغط الواقع عليها . وترسب أولا المعادن القليلة الذوبان
في هذه المحاليل الجارية ثم تليها الأكثر قابلية الذوبان ، ويتوقف ذلك
إلى حد كبير على درجة حرارة المحلول ، الضغط الواقع عليه أثناء الترسيب .
وعلى هذا الأساس يمكن تسمية الرواسب المعدنية من المحاليل الجارية إلى ثلاثة
أنواع هي :

١ - رواسب عالية الحرارة Hydrothermal deposits : ترسب من محاليل
ذات درجة حرارة عالية تتراوح بين ٥٠٠ - ٣٠٠ م وتحت ضغط كبير ،
بمعنى أنها ترسب على أعرف بعيدة من سطح الأرض . ومن أمثلة المعادن التي
تتكون تحت هذه الظروف : وانثرايت ، دوليديت (موكب)
Molybdenite ، كاسيتريت ، جازنت ، كوباز ومعدن أباتيت .

ب - رواسب متوسطة الحرارة Mesothermal deposits : وتتبع من
محاليل متوسطة الحرارة ، تتراوح بين ٣٠٠ - ٢٠٠ م وتوجد على عمق متوسط
من سطح الأرض حيث الضغط المتوسط . وأهم المعادن التي تتكون من
المحاليل المتوسطة الحرارة هي : كبريتيدات الفلزات مثل كالكو بايريت
(نح ح كب) ، وسفاليريت (خ كب) ، جالينا (ركب) ، أرسينوباييريت
(ح ز كب) كبريتيد الحديد والزنك Arsenopyrite ، تراهيدريت
(نح ، ح ، خ ، ف) ، نيه ك ب ، كبريتيد الأنثيمون والنحاس والحديد
والزنك والفضة Tetrahedrite . ومن الكبريتات معدن بارييت (با كب)
ومن الكربونات معدن الكالسيت .

حوم رواسب منخفضة الحرارة Epithermal deposits : تترسب من محاليل ذات درجة حرارة منخفضة ٢٠٠ - ٥٠٠ م° وتحت ضغط أقل من المتوسط بمعنى أنها تترسب قريبا نسبيا من سطح الأرض . ومن أمثلة المعادن التي تكون الرواسب المنخفضة الحرارة السنتار (كبريتيد الزئبق) Cinnabar ، ستينيت (نتـ كـبـ) ، ماركازيت (حـ كـ بـ) . ومن الكربونات معدن كالسيت ومن المالوجينات معدن فلوريت ومن السيليكات معدن كوارتز وأوبال .

ولا يقف نشاط محاليل الميهرة الحارة على مجرد حمل وترسيب المعادن فحسب ، بل قد تتفاعل مع الصخور المكان التي تمر بها أو تحيط بها . فبينما تذوب بعض هذه الصخور في المحاليل الحارة فتزودها ببعض العناصر الأخرى ، قد يتم هناك إستبدال أو إحلال جزئي أو كلي لبعض عناصر المحاليل الحارة محل عناصر أخرى مشابهة لها أو متقاربة منها موجودة في الصخور المكان فننتج بذلك معادن أخرى جديدة . ويعرف هذا التغير في التركيب المعدني الناتج من إحلال بعض مكونات المحاليل الحارة محل بعض مكونات الصخور المكان التي تمر بها أو تتواجد معها باسم (التحول السائلي) أو (التضمير)

(الاستبدال) Metasomatism .

ويعزى التحول السائلي إلى أن بعض الصخور تؤثر بإخيار الصخر القاعدي الذائب في المحاليل الجارية إذا كانت قابلية كبيرة للشق الحمضي الموجود في هذه الصخور ، أو العكس بأن تكون قابلية الشق الحمضي الموجود في المحاليل تتوافق مع الشق القاعدي في الصخور التي تمر بها . ومن أمثلة التحول السائلي تكوين رواسب الحديد في كينفلاند بأمریکا ، حيث حلت كربونات الحديد (حـ كـ بـ) محل كربونات الكالسيوم (كـ كـ بـ) نتيجة لإحلال عنصر الحديد

من المحاليل الجارية محل عنصر الكالسيوم في الصخور الجيرية مما أدى إلى تكوين معدن سيديريت ، محتفظا بجزء كبير من المظاهر الخارجية للصخور الجيرية الأصلية وكذلك أشكال بعض الحفریات التي كانت موجودة فيها ، أى أن معدن السيديريت يظهر في هذه الحالة في شكل كاذب Pseudomorph لكربونات الكالسيوم . وكذلك يبدو الخشب السيليسي Silicified wood (بالغابة المتحجرة بالقرب من القاهرة) نتيجة إحلل السيليكا بحمل المواد السيليلوزية المكونة للخشب ، وذلك بواسطة محاليل الصهر الجارية الجميلة ثنائي أكسيد السيليكون ، مع احتفاظ الخشب بشكله ومظهره الخارجى (ظاهرة الغداع الشكلى) . بنفس الطريقة تتكون بعض الرواسب الفنية بمعدن ماجنيزيت .

تكون المعادن من المحاليل السطحية

تشمل المحاليل السطحية المحتويات الذائبة في مياه البحار والبحيرات والمخيمات والأنهار ، وفي المياه الأرضية Ground water الناتجة من الأمطار التي قد تتسرب خلال الشقوق والفواصل والمسام في الصخور المختلفة وتحمل معها قدر ما تستطيع من المواد التي قد تذيبها أثناء تمريرها . وتتسبب المعادن من هذه المحاليل السطحية نتيجة تغير الظروف الطبيعية ، وتسمى تجمعاتها خامات المعادن الرسوبية Sedimentary ore-minerals ، وتتكون بأحدى الطرق الآتية :

- (١) بحر السائل المذيب : تتركز الأملاح الذائبة في مياه البحيرات نتيجة تبخر الماء المرصع تسمح بتبلور بعض المعادن في ترتيب معين . ونوقف على عدد

ذوبان العناصر المكونة لهذه المحاليل ، فغالبا ما تترسب أملاح الكربونات أولا .
مثل كربونات الكالسيوم (كالسيت) ثم كربونات الماغنسيوم (ماجنيزيت)
ثم تلي الكربونات أملاح الكبريتات مثل كبريتات الكالسيوم المائية (جبس) ،
ثم أملاح الكلوريد مثل كلوريد الموديوم (هاليت) .

٢) بخر الفاز المساعد على الإذابة : قد يذوب غاز ثاني أكسيد
الكربون في مياه الأمطار ويكسبها خاصية الحامض الضعيف (حامض
الكربونيك) فتذيب بعض الصخور الجيرية التي تعسر خلطها وتنتج
يكربونات الكالسيوم كأيده (ك_٢) ، وهذا المركب قابل للذوبان في
الماء إلا أنه غير مستقر ، فبمجرد تعرضه لفقدان غاز ثاني أكسيد الكربون
تحول إلى كربونات الكالسيوم غير قابلة للذوبان في الماء ، فتترسب هذه
مكونة معادن الكالسيت والأرجوانيت . وكثيرا ما يحدث ذلك في الكهوف
والمغارات التي توجد في المناطق ذات الصخور الجيرية والتي تنزر فيها الأمطار
حيث تترسب كربونات الكالسيوم على هيئة أعمدة مخروطية الشكل تتدلى من
سقف هذه الكهوف وتكون ما يسمى ستالاكتيت Stalactite (شكل ٤٣) ،
وتتصاقط نقط المحاليل الجيرية كذلك على أرضية الكهوف فتعرض لفقدان
غاز ثاني أكسيد الكربون وتترسب كربونات الكالسيوم في أعمدة مخروطية
ترتفع على قاع الكهوف وقد تتشكل بأشكال طبيعية جميلة وتسمى
ستالاغميت Stalagmite .

وقد تتسرب هذه المحاليل إلى أعماق بعيدة عن سطح الأرض فتعكسب
حرارة مائية نسبياً تساعد على فاعلية حامض الكربونيك في الإذابة . ثم لا تلبث

أن تبرد مخرجاً لها على هيئة ينابيع ، فيتطاير منها ثاني أكسيد الكربون
بعضها للجو والبرودة فتترسب كربونات الكالسيوم مباشرة حول ينبوع
في كتل مختلفة الأشكال تسمى ترافيرتين Travertine أو السترالجمري
Calc-sinter . وأحياناً أخرى تتسرب محاليل المياه السطحية إلى أغوار بعيدة
فترفع حرارتها وكذلك الضغط الواقع عليها للدرجة تمكنها من إذابة كل
ما يعادفها حتى السيليكا ، فلذا ما وجدت مثل هذه المحاليل المدفونة المواتي لها
فإنها تتصاعد إلى سطح الأرض على هيئة ينابيع حارة متفجرة تسمى جيزير
Geyser ، ويجرد تعرضها للجو - حيث الانخفاض المفاجيء في درجة
الحرارة والضغط - فإن المحاليل ترسب ما بها من أملاح ذائبة بالقرب من
الينابيع الحارة المتفجرة على هيئة رواسب سيليسية دقيقة الحبيبات تسمى
جيزيريت Geyserite أو سترسيليسي Siliceous-sinter .

تكون المعادن من مواد صلبة (الصخور)

قد تنشأ بعض المعادن من مواد صخرية صلبة تحت تأثير الحرارة الشديدة
أو الحرارة المصحوبة بضغط مرتفع ، فتتغير المعادن الأصلية المكونة لهذه
الصخور تغيراً قد يكون جزئياً أو كاملاً في بنائها وتركيبها وخواصها .
وقد تنبع الحرارة من تداخل مواد الصهير أو محاليل مرتفعة الحرارة في
صخور المكان ، ويحدث أن تنصهر صخور المكان في منطقة التماس Contact
أو التلامس بينها وبين مواد الصهير، ثم تستعيد المركبات الأصلية المكونة لهذه
الصخور بناءها من جديد بحيث يتناسب هذا البناء مع الظروف المستجدة ،
أي تحول المعادن الأصلية إلى معادن أخرى ، فتلا تحول رواسب معادن

الحديد اللاتية بفعل الحرارة الناتجة من تداخل مواد الصهير إلى رواسب غنية بمعادن الهيماتيت والماجنتيت في منطقة الجبال بين الصخور الأصلية ومواد الصهير المتداخلة . وتعرف مثل هذه التكوين رواسب الخامات النحاسية Contact ore deposits . فإذ كانت الحرارة ناشئة من تداخل محاليل حارة في صخور يمكن فقد تنشأ بينهما عمليات إحلال أو إستبدال لبعض العناصر المكونة لكل منها وينتج عن هذا الإحلال المتبادل معادن جديدة تلائم الظروف الطبيعية الجديدة ، ويُعرف هذا بالتحويل التآكلي الحصائر Pyrometasomatism . وأهم الرواسب المعدنية التي تتكون بهذه الطريقة الصخور الخزائنية Thermal metamorphism . ورواسب الكبريتيدات مثل: البازوفيت ، الكالكو بايريت ، زنكلند (سفاليريت) ، ومن الأكاسيد الهيماتيت والماجنتيت . وغالباً ما يصحب هذه الرواسب تكوين بعض المعادن المميزة التي تسمى « سكان » Searh-minerals مثل ولاستونيت (كاس أم) Wallastonite وينتج من اتحاد الكوارتز (السيليكات) مع الكالسيت (الكربونات) ، والجوارنت الحديدية (جروسولار Grossular) ، وبيروكسينات حديدية ، ومعادن أيدوت (سيليكات كا ، لو ، ح) ، ومعادن أيدو كراز (سيليكات كا ، لو ، ح ، ما) .

ظهور الرواسب المعدنية في الطبيعة

يمكن تميز الرواسب المعدنية على أساس تكوينها وظهورها Occurrence إلى نوعين :

١) « رواسب معدنية » معاصرة « Syngenetic mineral deposits » : تتكون

معادن هذه الرواسب في نفس الوقت التي تتكون فيه الصخور الحاوية لها أو المحيطة بها وتظهر منتشرة مبعثرة فيها . ومن أمثلة هذه الرواسب المعدنية المعاصرة تلك المعادن النافعة التي تظهر أثناء عملية تمايز الفلزات وأكاسيدها وبعض كبريتيداتها في أولى مراحل تصلد الصهير - مرحلة الصهير القويم - في نفس الوقت التي تبلور فيه معادن السيليكات فوق القاعدة (الغنية جداً بالعناصر القاعدية) ، مثل ظهور معدن الكروميت (ح كرم ١) في الصخور فوق القاعدية Ultrabasic rocks ، وكذلك بعض الرواسب المعدنية الطبقة Bedded mineral deposits التي تتكون في وقت معاصر لتكوين طبقات الصخور الرسوبية الحاوية لها .

٢) رواسب معدنية لاحقة « غير معاصرة » Epigenetic mineral deposits

تتكون معادن هذه الرواسب بعد ظهور الصخور الحاوية لها أو المحيطة بها . وغالباً ما توجد في الشقوق والشروخ والفواصل في الصخور ولذلك فإنها تتشكل بشكل هذه الفراغات ، وعادة ما تظهر على هيئة عروق Veins or lodes . وقد تمتد العروق في معظم الأحيان إلى مساحات طويلة وأعماق بعيدة ولكنها قليلة السمك ، ويختلف سمكها من مكان لآخر . وتترسب المعادن في أحيان كثيرة في المسافات البينية interstices للصخور وتعرف مثل هذه التجمعات بالرواسب المتسربة Infiltrations ، وأحياناً أخرى نحل الرواسب المعدنية محل صخور المكان التي تتداخل فيها فتتخذ بذلك أشكالاً غير منتظمة .

تعرف الرواسب المعدنية التى تظهر فى نفس المكان أو الموضع الذى نشأت فيه بأنها رواسب أولية أو موضعية Primary or in situ. أما المعادن التى تنقلها الرياح أو تجمدها المياه من المكان الاصلى لنشأتها ثم ترسبها فى

- مكان آخر فتسمى رواسب ثانوية أو منقولة Secondary or placer deposits .
وتوجد مثل هذه الرواسب المنقولة مختلطة بالحصى والرمال عند مصاب الأنهار وكذلك على جوانبها وفى مجارى السيول . وغالباً ما تتركز المصادن فى الرواسب المنقولة بعملية تصنيف أو فرز طبيعى تتوقف على الوزن النوعى لها ، فتواجد المعادن ذات الوزن النوعى الواحد أو المتشابهة فى مجموعات يسهل فصلها عن بعضها . وأهم أنواع الرواسب المنقولة هى رواسب الذهب التى قد يتواجد معها رواسب الماجنيتيت والكروميت والزبركون . وكذلك رواسب الرمال السوداء المنقولة التى تحتوى أحياناً على بعض المعادن النادرة المشعة ذات القيمة الاقتصادية مثل رواسب الرمال السوداء عند ملتقى النيل بالبحر الأبيض المتوسط عند رشيد .

تبدل المعادن Alteration of minerals : تتعرض الرواسب المعدنية

للتأثيرات الجوية ، وينتج عن ذلك تغير المعادن المكونة لها تغيراً قد يكون طبيعياً أو كيميائياً بسبب التجوية Weathering . ويؤدى التغير الطبيعى إلى تكسر المعادن وتفككها Disintegration بسبب التغير المستمر فى درجة الحرارة أو نتيجة لفعل الرياح أو الأمطار . وينتج عن التغير الكيميائى تحلل المعادن Decomposition وتغير تركيبها الكيميائى تغيراً سطحياً أو جزئياً ، فتؤدى عملية الأكسدة إلى تغير مظهر سطح المعدن المعرض للهجو ،

ويستج عن وجود ثاني أكسيد الكربون عملية تكرين اسطح المعدن فيغطى بطبقة رقيقة من كربونات العناصر المكونة له . وقد تذوب المعادن جزئيا نتيجة للتفاعلات الكيميائية البطيئة ثم تنقل بواسطة المياه أو الرياح إلى حيث تترسب من جديد في مكان آخر تاركه خلفها المكونات غير القابلة للذوبان في مكانها الأصلي والتي تعرف حينئذ بالرواسب المتبقية *Residual deposits* .
مثل رواسب البوكسيت (أكسيد ألومنيوم مائي) *Bauxite* ، ورواسب الكاولينيت (سيليكات ألومنيوم مائية) *Kaolinite* .

الباب الثالث

الصخور

(بقلم النوارى)

يتكون الجزء اليابس من الأرض من أنواع مختلفة من الصخور . ويمكن تعريف الصخر بصفة عامة بأنه كل مادة صلبة تتكون أساساً إما من معدن واحد أو من خليط معادن عديدة ، وتشترك في بناء جزء أساسي من القشرة الأرضية . وتوجد أيضاً بعض الصخور التي تتكون من أصل عضوي (ليس معدني) مثل صخور الفحم أو الصخور العضوية المتكونة من تكديس بقايا الهياكل العظمية للكائنات الحية .

تختلف الصخور اختلافاً يائاً يتوقف على نوع المعادن المكونة لها ، بل وعلى النسبة بين المعادن المشتركة في تكوينها أي التركيب المعدني لها ، وكذلك على كيفية نشأتها Mode of origin وطريقة تكوينها وتواجدها Mode of occurrence . ويمكن تصنيف الصخور حسب كيفية نشأتها إلى ثلاثة أقسام رئيسية .

أولاً - الصخور النارية Igneous rocks : وتشمل الصخور المتبلورة بصفة مامة والتي تكونت من تصلد الصهير (ماجما) Magma في باطن الأرض أو تصلد الحمم (لافا) Lava على سطح الأرض .

ثانياً - الصخور الرسوبية Sedimentary rocks : تنشأ هذه الصخور نتيجة

تكسير وتفتت صخور سابقة التكوين ثم ترسيبها من جديد تحت تأثير النشاط
الآلي أو الكيميائي لعوامل التعرية أو النشاط العضوي للكائنات الحية .

ثالثاً - الصخور المتحولة Metamorphic rocks : وتشمل كل الصخور
التي تتكون نتيجة تغير أو تحول أساسي في مادة صخور نارية أو رسوية
سابقة التكوين تحت تأثير تعرضها لظروف طارئة من الحرارة أو الضغط أو
كليهما معاً ، مما يؤدي إلى تغير معالم الصخر الأساسي تغيراً جزئياً أو كلياً
وإكتسابه معالم جديدة تلائم الظروف الجديدة .

ويمكن التمييز بين هذه الأنواع الرئيسية الثلاثة بصفة مبدئية . فالصخور
الرسوية غالباً ما تتكون في هيئة طبقات متباعدة ، وقد تحتوي كل منها على
بقايا حيوانية أو نباتية قديمة (تسمى الحفريات) ، وتعدم هذه الميزة تماماً
في الصخور النارية ، وتوجد أحياناً في الصخور المتحولة عن أصل رسوبي
حيث تشوه الحفريات أو تتحول تماماً فاركه خلفها آثاراً ندل على سابق
وجودها . وتتميز الصخور النارية بهيئتها الكتلية اللاطيفية Non-stratified
ولكنها غالباً ما تكون في حالة متبلورة ، في حين يندر وضوح مثل هذه
المكونات المتبلورة في الصخور الرسوية وتظهر في كثير من الصخور المتحولة
حيث تتبلور مكوناتها من جديد وترتب نفسها في نظام صفائحي يناسب
ويوائم الإحتفاظ بكيانها تحت تأثير الضغط المرتفع الذي تعرضت له .

أولاً - الصخور النارية

تتكون هذه الصخور من تصلد وتبلور مادة الصهير التي تتواجد على
أعماق عميقة غير معروفة من سطح الأرض . وقد تضطرب هذه المواد المنصهرة

تحت تأثير ضروى معينة إلى العمود في الفتحة الأرضية حيث تغزوها وتتداخل بين صخورها ، وأحيانا قد يعمل الصهر إلى سطح الأرض ، وفي كلتا الحالتين يتعرض لفقدان حرارته ويتجمد متبلورا في مكان ما ، أما في باطن الأرض أو على سطحها (شكل ٢٦) . وبذلك يمكن تصنيف الصخور النارية حسب بيئة تكوينها وتواجدها إلى :

١) صخور باطنية Intrusive rocks وتشمل :

أ - صخور جوفية Plutonic rocks

ب - صخور تحت سطحية Hypabyssal rocks

٢) صخور سطحية Extrusive rocks أى صخور بركانية

• Volcanic rocks

الصخور الجوفية

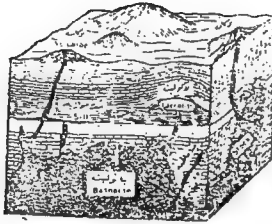
تتكون الصخور الجوفية على أعماق بعيدة في جوف الأرض حيث تسمح عوامل الحرارة والضغط بعملية تبلور تام لمكونات الصهر ، نتيجة التبريد البطيء والضغط المستقر نسبياً ، ولذلك توجد المكونات المعدنية للصخور الجوفية في هيئة بلورات كبيرة الحجم ومتساوية فيما بينها في النمو وفي ترتيب أفرادها ، وتوصف المعادن في هذه الحالة بأنها كاملة التبلور Holocrystalline . وتعرف الهيئة الناتجة عن الحجم النسبي وشكل وطريقة ترتيب بلورات المعادن المكونة لصخر ما بالنسيج Texture . وتتميز الصخور الجوفية بنسيج كامل التبلور أى ذات بلورات واضحة المعالم « نموذجية الشكل » ، Idiomorphic (شكل ٣٢) . ويوصف النسيج في هذه الحالة بأنه كبير

الحبيبات (coarse grained texture) أو جرابيتي (granitoid) (شكل ٢٧، ٢٨).
وتواجد الصخور الجوفية في هيئة كتل ذات حجم ضخم ، تغطي مساحات
شاسعة تبلغ مئات الكيلومترات على أعماق كبيرة جداً تحت سلاسل الجبال ،
وتزايد مساحتها تدريجياً في اتجاه قاعدتها ، وعادة ما تكون أسفها مخروطية
الشكل وجدرانها شديدة الانحدار وغير متوائمة (متباينة - شكل ٥٧) مع
صخور مكانها وتعرف مثل هذه الكتل الضخمة من الصخور النارية
« باتوليث » Batholith (شكل ٢٦) . وتسمى الأبحام الصغيرة منها
« بوس ، Boss أو « ستوك » Stock .

الصخور تحت السطحية (المتداخلة)

يصعد الصهير أحيانا - تحت ظروف إضطرابية - داخل القشرة الأرضية
ويتسرب إلى مناطق الغنف في صخور المكان وخاصة الرسوبية منها ويتجمد
عن ذلك نقوس الطبقات الموجودة فوق الصهير المتداخل فتتخذ هيئة قبو ذو
قاعدة مستوية إلى حد ما ، وبذلك يوجد عدم توافق متباين (شكل ٥٧) ،
بين السطح العلوي لهذه الكتلة المتداخلة وطبقات الصخور الرسوبية المحيطة
بها . وتسمى مثل هذه الكتل النارية المتداخلة ، التي قد تصل مساحتها عدة
كيلومترات ، باسم لاكلوليث Laccolith أو كتل جرسية .

وأحيانا يتداخل الصهير بين سطوح الطبقات الرسوبية الضعيفة حيث
يتجمد في هيئة جدد موازية Sills (شكل ٢٦) ، وأحيانا أخرى بغزو
الصهير الشقوق والتواصل أو الكسور التي غالبا ما تكون رأسية أو مائلة في
صخور المكان ويتجمد مكونا كتلا نارية تعرف بالجلدد القاطعة أو
الرأسية Dikes .



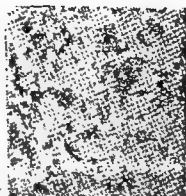
وتتميز المخور تحت
السطحية بنسيج بورفيرى
(شكل) Porphyritic texture
من ٣٠ ، ٢٩ ويتكون من
بلورات كبيرة الحجم تسمى
فينوكريست Phenocrysts
(شكل ٣١ ، ٣٢) منتشرة
في وسط من البلورات الدقيقة
أو المجهرية Microcrysts أو

(شكل ٢٩) بين كمية تواجد المخور النارية

أو في وسط زجاجى Glassy groundmass بعدم فيه التبلور نهائياً . وينشأ
النسيج البلورى البورفيرى نتيجة تغير الظروف المحيطة بالمصهر المتراخلى أثناء
تصلده : فتتكون البلورات الكبيرة الحجم النموذجية الشكل أثناء وجود
المصهر في أعماق بعيدة نسبياً من سطح الأرض نتيجة التبريد البطيء ، فإذا
ما تداخل المصهر بعد ذلك في الطبقات القريبة من سطح الأرض حيث التبريد
المفاجئ ، فإنه يتصلد حيثذ في بلورات دقيقة الحجم أو مجهرية تملأ وتتشكل
بشكل الفراغات الموجودة بين البلورات النموذجية الشكل السابق تكوينها ،
ولذلك فعلاً ما تكون هذه الحبيبات المتبلورة غير كاملة الهيئة ، غريبة الشكل .
Xenomorphic أو تحت نموذجية الشكل ، Hypidiomorphic . وأحياناً
أخرى يتعرض المصهر المتداخل إلى إنخفاض شديد مفاجئ في درجة الحرارة
والضغط فيتصلد في هيئة مادة خفية التبلور (Cryptocrystalline) لا يمكن
تمييزها بعدسة مكبرة أو مجهر مائى) أو يتجمد في هيئة مادة زجاجية عديمة
التبلور ، لتكون الوسط الذى يحيط بالبلورات الكبيرة الحجم .



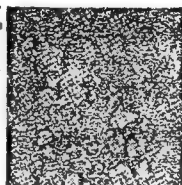
(شكل ٢٨) تريمجة ميكروسكوبية زين
النسيج الحرايتي في صخر سيانيت
(توة التكبير $\times 10$)



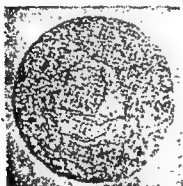
(شكل ٢٧) زين النسيج الجرايتي
في صخر جرانودايه رايث - حجم طبيعي



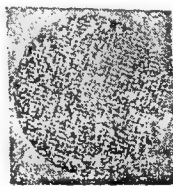
(شكل ٣٠) زين بلورث واضعة
« لينوكريت » لمادن للسلالات في
وسط زحاجي عمدي في صخر آبيديان
(تكبير $\times 10$)



(شكل ٢٩) زين النسيج اليوريفري
في صخر كراوتز يوريفري - حجم طبيعي



(شكل ٢٢) تريمجة ميكروسكوبية
بين تقاطعا طوليا في بلورة كاملة الهيئة
« نموذجية الشكل » لمعدن أوليفين في
صخر بازالت - (تكبير $\times 20$)



(شكل ٣١) تريمجة ميكروسكوبية
بين بلورة واضعة « لينوكريت » في
وسط دقيق البلور في صخر رايث
(تكبير $\times 10$)

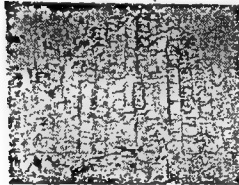
المخور السطحية أو البركانية

تكون هذه المخور نتيجة تدفق الحمم أو اللافا Lava من أفواه البراكين النائرة ، أو من الشقوق والفواصل التي قد تصعد في الصهير المتصاعد في مخور المكان إلى سطح الأرض. وتنتعد الحمم حيث سرعة انحدارها لا تسمح لمكوناتها بأن تتخذ الأشكال البلورية الخاصة بها فتكون مادة رجاوية عديدة البلور. وأحيانا تتجمد الحمم في كتل سميكة ، فتتكون الطبقة الخارجية منها في نسيج زجاجي نتيجة تعرضها المباشر للجو حيث تفقد حرارتها بسرعة هائلة ، بينما تتمتع الأجزاء الداخلية منها بتبريد بطيء نسبيا فتتجمد في نسيج دقيق أو خفي البلور. وغالبا ما تحتوي الحمم على غازات وأبخرة متعددة على هيئة فقائح كبيرة ، سرعان ما تتطاير بمجرد تعرضها للجو تاركة خلفها فراغات فقاعية في المخور النارية السطحية فتكون نسيجاً فقاعياً Vesicular texture (شكل ٣٧ - ٣٩). وقد تمتلئ هذه الفراغات الفقاعية فيما بعد بمعادن ثانوية لاحقة مختلفة الأصل وتظهر في شكل لوزي، ويوصف النسيج الناتج بأنه لوزي أو أميجدالي Amygdaloidal texture. وأحيانا تتجمع الغازات البركانية في الحمم على هيئة فقائح صغيرة جدا كثيرة الانتشار ، وبمجرد تطايرها تستترك الصخر البركاني على هيئة نسيج أسفنجي Spongy texture كما هو الحال في الحجر الخفاف .

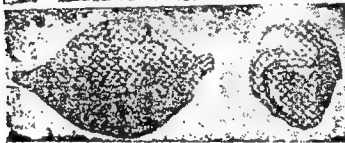
وتظهر المخور البركانية في الطبيعة في أشكال مختلفة تتوقف على التركيب الكيميائي للحمم ودرجة حرارتها ودرجة لزوجها Viscosity : فالحمم الحامضية التركيب تظل لزجة لوقت طويل وخاصة في درجات الحرارة العالية فتسبيل إلى مسافات قصيرة غير بعيدة عن مصدرها ، في حين أن الحمم القاعدية التركيب



(شكل ٣٣) يبين التركيب الحبيبي والوسادي للحم البركانية



(شكل ٣٤) يبين التركيب البعدني في صخر البازلت



(شكل ٣٥) التنايل البركانية

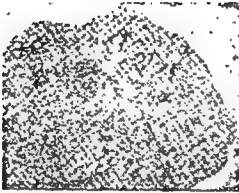
قليلة الزوجة أو مائعة Mobile وتحرك بسهولة فحصل إلى مسافات بعيدة نسيجا عن مصدرها . وتنفذ البراكين قطع الحزم إلى إرتقاعات مغلقة في هيئة كتل بركانية Volcanic blocks ، أو هيئة بيضاوية تعرف بالقنابل البركانية Volcanic bombs ، (شكل ٣٥) ، أو قطع صغيرة الحجم تسمى « لايلاي » Lapilli ، أو تتطاير في هيئة فتات أو حبيبات صغيرة تعرف بالقنابل البركاني Volcanic dust ثم تتساقط هذه القنائف البركانية وتكون الرواسب البتائية البركانية Pyroclastic debris (شكل ٣٩) ، ومنها :

١- الاجلومات Volcanic agglomerate : ويتكون من قطع بركانية صغيرة مستديرة الشكل .

ب- البريشا البركانية Volcanic breccia : ويتكون من قطع صخرية بركانية حادة الحواف .

ج- التوفا البركانية Volcanic tuff : وهي الرواسب البركانية المديقة التي تتكون من الغبار البركاني .

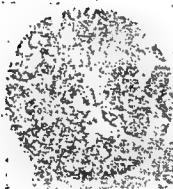
أما اللافا فلها تسيل على جوانب البراكين النائرة ، وعندما تبرد هذه الحمم المتدفقة فلها تتخذ أشكالا جبلية Ropy appearance (شكل ٣٣) ، عادة ما توازي السطح الذي تسيل عليه ، وغالبا ما تبلور مكونات الجزء الداخلي لهذه الحمم المتحركة وترتب متوازية بعضها في اتجاه التحرك فيتتج ما يسمى بنية الانسياب Flow structure (شكل ٣٦) . وقد تبرد اللافا مجمدة على هيئة وسائد متجمعة فوق بعضها في بنية وسادية Pillow structure (شكل ٣٣) ، وأحيانا تتجمد الحمم في شكل أعمدة رأسية متلاصقة ذات



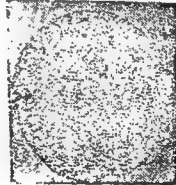
(شكل ٢٥) يبين النسيج الغشائي
الاحتشائي في صخر يوهيس



(شكل ٢٦) يبين التركيب الانسيابي
في صخر وايوليت



(شكل ٢٧) شريحة ميكروسكوبية تبين
النسيج الغشائي والمواد الملتصقة في صخر
التوتا البركانية (تكبير $\times 10$)



(شكل ٢٨) شريحة ميكروسكوبية تبين
النسيج الغشائي « البرليتي » في صخر
بشتون (تكبير $\times 10$)

مقطع سداسى منتظم يشبه خلايا النحل يعرف بأبنية العمداية Columnar structure (شكل ٣٤) . وتتشابه هذه البنية عن الانكماش المنتظم لسطح الحم نتيجة التبريد فتتفصل فى أشكال منتظمة سداسية المقطع ، وتمتد المواصل متعمدة إلى أسفل بازدياد التبريد والانكماش فتتكون أعمدة طويلة متوازية متجاورة منفصلة بعضها بعضا .

التركيب المعدنى للصخور النارية

يتكون الصخر النارية من فصل مادة الصهير أو الحم . فبإحدى نمط الصهير إلى تكون معادن السيليكات بالبلور فى نظام وتتابع من هو البلور النوعى أو البلور التجزئى (شكل ٢٥ ، ص ٨٣) . ونتيجة لهذا فإن الصخر النارية تختلف إختلافا بينا فيما بينها فى تركيبها المعدنى وبالتالى فى تركيبها الكيميائى . ولا يتوقف نوع الصخر النارية على مجرد خاصية البلور النوعى فحسب ، بل يتوقف كذلك إلى حد كبير على التركيب الكيميائى لمادة الصهير نفسه ، فالصهير القنى أصلا بالسليكا والألومينا والقلويات يتصلد مكونا معادن الفلسبارات القلوية والميكا البصماء (مسكوفيت) والكوارتز ، بينما تتكون المعادن الحديد وماغنيسية مثل الأوليفين ، الأوجيت ، الهوربلند والميكا السوداء (بايوتيت) من الصهير القنى بالماغنيزيا وأكسيد الحديد والجير . وأما الصهير القنى بالقلويات (الصوديوم والبوتاسيوم) الفقير فى السليكا فإنه يتصلد مكونا المعادن القلبياتية مثل النيغلين واللوسيت .

وتصنف الصخر النارية على أساس التركيب المعدنى ، أى حسب نسبة السليكا التى يحتويها الصخر إلى أقسام رئيسية :

(١) صخور حمضية Acidic rocks : تحتوى على أكثر من ٦٦٪ سيليكاً ونسبة صغيرة من الحديد والمغنسيوم ولذلك فإن لونها غالباً ما يكون فاتحاً ، وأهم المعادن التى تكون هذه الصخور هى الكوارتز والفلسبارات البوتاسية مثل أرثوكلاز وميكروكلين وقليل من الفلسبارات البلاجيوكلازية الحمضية مثل أوليجوكلاز، وأليت والميكا البيضاء وتقليل من الميكا السوداء ، ومن أمثلة هذه الصخور جرانيت ، جرانودايوريت ، أبلت ، رابوليت .

(٢) صخور متوسطة Intermediate rocks : تتميز فيها نسبة السيليكات بين ٦٦٪ و ٥٢٪ وتزداد بها نسبة الحديد والمغنسيوم عن النوع السابق ، وعلى لذلك ذات لون متوسط ولكنه أقسم من الصخور الحمضية . ومن أهم المعادن المكونة لها : الفلسبارات البلاجيوكلازية المتوسطة التركيب مثل أنديزين ، ومعادن الأمفيبولات مثل الهورنبلد ، وقليل من الفلسبارات البوتاسية والميكا السوداء ومن أمثلة هذه الصخور دايوريت ، أنديزيت ، ترايكت .

(٣) صخور قاعدية Basic rocks : تحتوى على نسبة ٥٢ - ٤٥٪ من السيليكات وتكثر فيها نسبة المعادن الحديد ومغنيسية مثل الأوليفين والبيروكسينات ، وكذلك الفلسبارات البلاجيوكلازية القاعدية مثل أنورثيت ، ويتدر وجود معدن الكوارتز فى هذه الصخور . ولون هذه الصخور عادة فاتم يميل إلى السواد ، ومن أمثلتها صخر جابرو ، دوليريت ، بازلت .

(٤) صخور فوق قاعدية Ultra-basic rocks : تقل فيها نسبة السيليكات عن ٤٥٪ من تركيبها وتتكون أساساً من المعادن التى تحتوى على نسبة عالية

جدا من الحديد والماغنسيوم مثل الأوليفين ومن أمثلتها صخر بريدوتيت ،
دونيت ويتكونان أساسا من معادن الأوليفين ، وصخر بيروكسينيت ومعظمه
من معادن البيروكسينات ، وكذلك صخر هوربلندريت ويتكون من
المهوربلند .

ويمكن تصنيف الصخور النارية بصفة عامة وبطريقة مبسطة يسهل استيعابها
تشمل كل من التصنيفين الأساسيين وهما : التصنيف حسب بيئة وطريقة
التكوين ، والتصنيف الذى يعتمد على التركيب المعدنى للصخور ، أى أن هذا
التصنيف العام يوقف أساسا على نوع نسيج الصخور ونسبة السيليكات (وبالتالى
اللون والوزن النوعى) كما هو موضح بالجدول المرفق (جدول رقم ١) .

وصف بعض الصخور النارية

يمكن الاستفادة بالجدول السابق فى وصف الصخور النارية من حيث
تركيبها المعدنى وطريقة تكوينها

الصخور الجوفية

الجرانيت Granite : صخر حمضى يتكون من المعادن الأساسية
Essential minerals : كوارتز والفلسبار البوتاسى مثل أرثوكلاز أو
ميكروكلين ، والميكا البيضاء (ماسكوفيت) أو السوداء (بايوتيت) وهذه
معادن سائدة Dominant . وقد توجد بعض المعادن الأساسية الأخرى
ولكن بنسبة أقل من المعادن السائدة ، فمثلا قد يوجد قليل من المهوربلند ،
ونادراً ما يوجد الأوجيت . ويتبع عن هذا التركيب المعدنى الحمضى لون
الجرانيت الوردى الناتج ووزنه النوعى الصغير نسبيا .

ويوصف الجرانيت حسب حجم بلورات المعادن المكونة له ، فهو صخر جوفى ذو نسيج جرانيتى قد يكون كبير البلورات أو دقيقها وغالباً ما تكون بلوراته كاملة الهيئة واضحة المعالم .

جرانودايوريت Granodiorite : ويتشابه إلى حد ما مع الجرانيت فى تركيبه المعدنى إلا أن نسبة الفلسبار البوتاسى تقل بكثير فى الجرانودايوريت ، وتزيد نسبة مهادن البلاجيوكلاز الصودى حيث تحمل محل الأرثوكلاز . ويختلف لون الجرانودايوريت بين فاتح وداكن حسب إزدیاد البلاجيوكلاز . والمعادن الحديدية ومغنتيسية القائمة مثل المورنيلند . والجرانودايوريت صنف من صخر جوفى جرانيتى النسيج كبير البلورات أو دقيقها .

سيانيت Syenite : صخر متوسط فى تركيبه المعدنى ويتكون أساساً من الفلسبارات البوتاسية (أرثوكلاز) ، والبلاجيوكلاز الصودى وهما المعدنان الأساسيان السائدان ، هذا بالإضافة إلى قليل من المعادن الأساسية الأخرى مثل الميكا السوداء والأمفيولات (هورنبلند) . وقد يوجد الكوارتز كعقدن غير أساسى بنسبة ضئيلة جداً أو يعدم وجوده فى صخور السيانيت . وصخر السيانيت فاتح أو متوسط اللون ، ونسيجه دقيق التبلور متساوى الحبيبات أى أنه صخر جوفى .

دايوريت Diorite : صخر متوسط التركيب المعدنى ومكوناته الأساسية السائدة هى البلاجيوكلاز الصودى (أوليجوكلاز) والمتوسط (أنديزين) . ومن المعادن الأساسية الأخرى : المورنيلند وتوجد بكميات متوسطة ، والميكا السوداء بنسبة أقل من المورنيلند ، وكذلك بعض معادن اليروكسينات

(أوجيت) بكميات قليلة . ويوجد الفلسبار البوتاني (أرثوكلاز) بنسبة ضئيلة جدا إلى حد اعتباره معدنا غير أساسي ، وأما الكوارتز فيندر وجوده أن لم ينعدم نهائيا . ولون الصخر قائم بصفة عامة ، وتزداد قتامة لونه بازدياد نسبة المعادن الحديدومغنيسية . والصخر جوفى أى أن نسيجه منتظم قد يكون متوسط أو دقيق البلور ، ويوجد عادة في كتل اللاكوليث أو الباتوليث .

جابر Gabbro : صخرى قاعدية شائع الوجود يتكون أساسا من المعادن السائدة الآتية : البلاجيوكلاز القاعدى (لابرادوريت - بايتريت - أنورثيت) والبيروكسينات (أوجيت ، أنستاتيت) . وتوجد معادن أخرى غير سائدة مثل الموربلند والأولفين وكميات ضئيلة من البايوتيت ، بجانب المعادن الإضافية الأخرى مثل ماجنيتيت وكروميت . وصخر الجابر وأسود اللون ذو نسيج منتظم ، متوسط البلور حيث أنه جوفى .

بريدويت Peridotite : وهو صخر فوق قاعدى ذو لون أخضر قائم أو أسود ويتوقف على تركيبه المعدنى ، وغالبا ما تكون المعادن الحديدومغنيسية هى السائدة فى هذا الصخر . ويسمى الصخر دونيت Dunite إذا تكون أساسا من معادن الأولفين بنسبة عالية جدا ، ويسمى بيروكسينيت Pyroxenite إذا كانت معظم مكوناته الأساسية من معادن أوجيت أو أنستاتيت ، ويسمى هورنبلنديت Hornblendite إذا تكون من معدن المورنبلند بنسبة تفوق المعادن الأخرى وغالبا ما تحتوى الصخور فوق القاعدية على معادن إضافية مثل ماجنيتيت ، كروميت والمينيت .

الصخور البيجماتيتية

تتكون صخور البيجماتيت من مواد الصهير المتبقية بعد تكوين المعخور النارية الجوفية حيث يصبح الجزء المتبقى أقل لزوجة أى أكثر ميوعة عن ذى قبل . وتسمح طبيعة الصهير المتبقى بتكوين معادن ذات بلورات كبيرة جداً إلى حد قد تبلغ فيه بضعة أقدام في الطول ، وتكون عادة واضحة نموذجية الشكل ، وبذلك تميز صخور البيجماتيت بنسيج منتظم كبير البلورات الكاملة الهيئة . وتتكون صخور البيجماتيت متداخلة في هيئة جدد أو عروق قد تتقاطع مع الصخور النارية الجوفية التي سبق تكوينها في المرحلة الأولى من تبلد الصهير ، أو قد تتداخل بين طبقات صخور المكان التي تغزوها ، وبذلك تكون صخور البيجماتيت حلقة الإتصال بين الصخور النارية الجوفية والصخور النارية السطحية أى البركانية من ناحية طريقة تكوينها وتواجدها .

أما عن تركيبها المعدني فهو حمضي ، يشبه التركيب المعدني لصخور الجرانيت إلى حد كبير : فتتكون صخور البيجماتيت من معادن أساسية تسود فيها نسبة الكوارتز والفيلبار البوتاسي والميكا وخاصة معدن ماسكوفيت الذي يتواجد بكية أكبر من معدن بابوفيت . ونعتبر صخور البيجماتيت مصدراً هاماً لبلورات الكوارتز والماسكوفيت والفاسارات .

الصخور السطحية (البركانية)

رايوليت Rhyolite : صخر سطحي ذو نسيج دقيق الحبيبات ، حمضي ذلون فاتح يقابل الجرانيت في تركيبه المعدني ، إذ يتكون أساساً من الكوارتز وأرتوكلاز وقليل من الميكا وأحياناً الهورنبلند . ويوجد صخر الـ رايوليت في الطفوح البركانية حيث يتميز بنسيج دقيق أو خفي التبلور ،

ويوجد أحياناً في المعخور تحت السطحية المتداخلة مثل الجدد فيكون سيجر
جيند بورفيريا .

ترايكت Trachyte : صخر بركاني ذو نسيج دقيق البلور ، أو تحت
سطحي ذو نسيج بورفيرى يحتوى على بلورات واضحة « قنوكريست »
من معدن سائدين (إحدى عينات الأنوكلاز) ، وتادراً ما يتكون في نسيج
زجاجى . والصخر ذولون فاتح أو متوسط إذ أن تركيبة المعدن متوسط
ي ناظر تركيب صخر السائيت ، ويحتوى على المعادن الأساسية : أنوكلاز
وبلاجيو كلاز صودى (أوليجو كلاز) وهما السائتان ، الميكا والهورنبلند
أما المعادن الإضافية متنوعة ، فقد يوجد منها الأوجيت ، الكوارتز وأو
اليفياني أو اللوسيت ، ماجنتيت ، زيركون . أبانيت .

بازلت Basalt : وهو صخر قاعدى قنم اللون يشابه صخر الجابرو
الجوفى في تركيبه المعدنى ويتكون من معادن البلاجيو كلاز القاعدية ،
والبيروكسينات وكميات قليلة من الأمفيبولات والأوليفين . ويتواجد
الماجنتيت كمعدن إضافى ولكن قد تزيد نسبته في بعض الأحيان لدرجة
إعتباره كمعدن أساسى . ويتميز البازلت بنسيج بورفيرى ذى بلورات دقيقة
في وسط خفى البلور أو زجاجى . وصخر البازلت من أكثر صخور القشرة
الأرضية شيوعاً حيث يوجد بكثرة في الجدد والطفوح البركانية .

أبسيديان Obsidian : صخر بركاني حمضى التركيب ذولون فاتح مثل
الأحمر والأخضر وأحياناً ذولون أسود مرقش بالأبيض . ونسجة زجاجى
عديم البلور إلا أنه قد يحتوى على بعض البلورات الدقيقة جداً أو الخفية

البلور ، وتبدو كذرات من الرماد في وسط زجاجي ، كما قد يحتوى على فراغات غازية .

صخر القار (بيشتون) Pitchstone : ذولون فاتح إلى متوسط مثل اللون الأحمر أو الأخضر أو البني ، وتركيبه المعدني حمضى يحتوى على نسبة كبيرة من الماء قد تصل إلى ١٠ ٪ ، ونسيجه زجاجي عديم البلور .

الحجر الخفاف (يوميس) Pumice : صخر حمضى فاتح اللون وبشابه صخر الرابوليت في تركيبه المعدني ولكنه يتميز بنسيج نقاعى أو أسفنجى مما يخفف وزنه لدرجة تسمح له بالطفو على سطح الماء إلى مسافات بعيدة عن مصدره .

تراكيليت Trachylite : صخر سطحي ذو نسيج زجاجي ، ناكس اللون قاعدى في تركيبه المعدني الذى يشابه التركيب المعدني لصخور البارلت .

ثانياً - الصخور الرسوبية

تتكون الصخور الرسوبية نتيجة تفتت صخور أخرى سبق تكوينها ، ثم ترسب المواد الناتجة في مكان جديد تحت ظروف عادية من الضغط والحرارة . ويتم ذلك بواسطة عوامل التعرية Denudation ، فتؤدي التجوية Weathering إلى تكسير الصخور الأصلية وتفتيتها تحت تأثير النشاط الميكانيكى أو الكيمايى للأمطار والرياح والمليد والصقيع أو الاختلاف الدورى في درجة الحرارة ، ثم نقل المواد الناتجة من عمليات التجوية - أما في حالة صلبة على هيئة جسيمات صغيرة أو حواض دقيقة غير قابلة

للذوبان ، أو في حالة سائلة على هيئة محاليل - من مكانها الأصلي بواسطة عوامل النقل Transport مثل المياه الجارية أو الرياح والتلاجات Glaciers ، إلى حيث تتجمع في هيئة رواسب صخرية . وعادة ما تتكثبن هذه الرواسب في هيئة طبقات متعاقبة - الأحداث فوق الأقدم منها - وتختلف فيما بينها في سمكها وتكوينها وحجم الحبيبات المكونة لها وألوانها وجميع صفاتها الأخرى ، وبذلك يمكن تمييز مستويات أو سطوح فاصلة لكل من هذه الطبقات . ثم تأتي بعد ذلك عملية تماسك أو تصلد Consolidation هذه الرواسب الصخرية وذلك بالصام Welding مكوناتها مع بعضها تحت تأثير الضغط الناتج من نقل الرواسب الأخرى التي تعلوها ، أو قد يتم التصلد بواسطة مادة لاصقة أو مادة لحام Cement ، مثل كربونات الكالسيوم أو السيليكا أو أكاسيد الحديد ، التي قد تتواجد بين مكونات هذه الرواسب . وتتكون الصخور الرسوبية من خليط مواد مختلفة ذات أصل متعدد وتركيب كيميائي أو معدني متباين ، تحت ظروف متنوعة وبيئات مختلفة ، وذلك مما يؤدي إلى تعدد أنواعها . وتصنف الصخور الرسوبية حسب طريقة تكوينها وظروف نشأتها إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

(١) صخور رسوبية ميكانيكية النشأة Mechanically-formed sedimentary

rocks: تشمل هذه المجموعة كل الصخور الرسوبية التي تتكون من قطع وفتات الصخور السابقة التكوين التي يتم نقلها - بواسطة المياه أو الرياح أو التلاجات أو بفعل الجاذبية الأرضية - دون أن يطرأ عليها أى تغير كيميائي إلى حيث ترسب بطريقة آلية ، ثم تتماسك وتتصلد .

٢- **صخور رسوية كيميائية النشأة** Chemically-formed sedimentary rocks : تتكون هذه الصخور نتيجة ترسيبها من محاليل تحتوي على مواد مذابة عندما ترتفع درجة تركيزها تحت تأثير الظروف الطبيعية المحيطة بها . أو قد تتكون الرواسب نتيجة تفاعل كيميائي بين مكونات هذه المحاليل .

٣- **صخور رسوية عضوية النشأة** Organically-formed sedimentary rocks : يتكون الصخور العضوية من نكس الغلغايا الصلبة الحيوانية والنباتية المختلفة عن الكائنات الحية بعد موتها ، مثل الهيكل العظمي والمخاريط والأصداف الحيوانية ، ثم تماسكها وتصلدها ، وكذلك أوراق النباتات وجذوع الأشجار وغصونها التي قد ترسب بين طبقات الصخور الرسوية الأخرى ثم تتحلل وتتجمد .

الصخور الرسوية الميكانيكية النشأة

يمكن تمييز الصخور الرسوية الميكانيكية في ثلاثة أنواع رئيسية تتوقف على حجم الحبيبات المكونة لها كما يلي :

١- **صخور رسوية ميكانيكية كبيرة الحبيبات** Coarse-grained, rudaceous or pebbly : تتكون من حبيبات كبيرة الحجم - ذات قطر لا يقل عن ٢ مم ، قد يصل أحياناً إلى بضعة سنتيمترات - تعرف عامة بالحبيبات Gravel أو « الحصى » Pebbles - وأهم هذه الصخور هي :

١) **كونجلومرات** Conglomerate : يتكون هذا الصخر من قطع صخرية مخددة الأمل ، ذات حواف مستديرة (شكل ٤٠) بسبب تقليبها واحتكاكها

بعضها أثناء نقلها عن طريق مياه الأنهار التي تحملها لترسبها عند مصابها بالقرب من شواطئه البحار . وتتصلد مكونات هذا الصخر من حصياء وحصى وأحيانا حبيبات رمل خشن مع بعضها بواسطة مواد لاحقة مختلفة مثل الهلام الجيري Calcareous cement أو السيليكى Siliceous أو الحديدى Ferruginous .

(٢) بريشيا Breccia : تختلف البريشيا عن صخر الكونجلومرات في شكل الحبيبات المكونة لها إذ هي ذات حواف حادة الزوايا (شكل ٤١) وليست مستديرة كما في الكونجلومرات ، وذلك لأن البريشيا تتكون عادة في البحيرات والخلجان والبحار المقفولة بعيداً عن تأثير التيارات البحرية القسوية حيث لا تتمرض حبيباتها للاحتكاك ومن ثم عدم التآكل والإستدارة .

ب - صخور رسوية ميكانيكية متوسطة الحبيبات (أو الرملية)
Medium-grained, arenaceous or sandy : يختلف حجم الحبيبات المكونة لهذه الصخور ، فيتراوح قطرها ما بين ٢٥٠ و ٢ مم . وتعرف هذه الصخور عامة بالصخور الرملية حيث أنها تتكون من حبيبات معدنية يسودها الكوارتز (أو الرمل) الذي يصعب تأثره بعوامل التعرية ، وتوجد حبيبات قليلة من معادن أخرى مثل الفلسبار والأوجيت والميكا ، وأحيانا اللاجنيتيت . وقد تحتوي كذلك على بعض أجزاء مفتتة من قشور أو هياكل الكائنات الحية وأهم الصخور الرملية :

(١) الحجر الرملى Sandstone : يتكون من الرمل الذي تسوده حبيبات الكوارتز المتوسطة أو الدقيقة الحجم ذات الحواف المستديرة (شكل ٤٢)

وتتأسك هذه الحبيبات مع بعضها بواسطة مادة لائحة قد تختلف من صخر لآخر . وتتميز أنواع الحجر الرملى حسب المادة اللائحة إلى :

حجر رملى جبرى Calcareous sandstone : إذا كانت المادة اللائحة

كربونات الكالسيوم . حجر رملى سيليكى Siliceous sandstone : إذا كانت

المادة اللائحة هي السيليكا . حجر رملى حديدى Ferruginous sandstone :

إذا كانت أكاسيد الحديد (هيماتيت أو جوبتيت) هي المادة اللائحة .

٢) الجرىت (حجر انطاحون) Grit : صخر رملى مكون من حبيبات

الرمل الخشن ، ذات حجم كبير (٢ - ١ مم) أو متوسط (١ - ٠.٥ مم) وذات

حواف حادة لم تتآكل أو تستدر بعد . وتتأسك حبيبات هذا الصخر بمادة

لائحة جيرية أو سيليكية أو حديدية .

٣) أركوز Arkose : صخر رملى تزيد فيه نسبة حبيبات معادن الفلسبار

عن حبيبات الكوارتز والمعادن الأخرى ، وغالبا ما تتأسك حبيباته بمادة

لائحة سيليكية .

٤) جرايواك Greywacke : صخر رملى أوجرىت (رملى ذو حبيبات

كبيرة حادة الحواف) يحتوى على نسبة عالية من حبيبات المعادن السيليكاتية

القاعدية مثل المورفلند والاروجيت والكلوريت ، وكذلك معدن ماجنيت .

وعلى ذلك فصخر الجرايواك (رملى حديد ومانغيسى) يقابل صخر الأركوز

(رملى فلسبارى) ، فينشأ الأول نتيجة تفتت الصخور النارية القاعدية بينما

يتصح صخر الأركوز عن تفتت الصخور النارية الحمضية .

ح - الصخور رسوبية ميكانيكية دقيقة الحبيبات (أو الطينية)

Fine-grained, argillaceous or clayey : تتكون هذه الصخور من حبيبات دقيقة لا يزيد قطرها عن $\frac{1}{16}$ مم ، تنتج عن انحلال وتفتت معادن السيليكات وخاصة سيليكات الألومينا المائية (المعادن الطينية Clay minerals) . ويمكن تمييز نوعين من هذه الحبيبات حسب حجمها أو قطرها : الغرين أو الطمي Silt or mud وهي حبيبات كبيرة نسبياً تراوح قطرها بين $\frac{1}{16}$ - $\frac{1}{32}$ مم ، والطين Clay وهو عبارة عن حبيبات دقيقة جداً لا يزيد قطرها عن $\frac{1}{16}$ مم ، وتماسك هذه الحبيبات الدقيقة نتيجة فقدان جزء من محتوياتها المائية لمجرد الضغط الواقع عليها والنتائج من نقل الرواسب التي تملؤها . وقد تحتوي الصخور الطينية على بعض البقايا العضوية المتحللة مثل الدبال Humus أو بقايا نباتية متفحمة ، وذلك مما يكسب بعضها الألوان القاتمة أو السوداء . وهناك بعض الصخور الطينية التي يشوبها اللون الأحمر أو الأصفر أو الأخضر نتيجة إحتوائها على بعض المواد الملونة مثل أكاسيد الحديد أو المنجنيز . وأهم الصخور الطينية :-

١ (الطين (صلصال) Clay : يتكون نتيجة تماسك حبيبات طينية دقيقة جداً ، ويحتوى على نسبة كبيرة من الماء (لا تتجاوز ١٥ ٪) كافية لأن تكسبه خاصية اللدانة « قابلية التشكيل » Plasticity .

٢ (الحجر الطيني Mudstone : يتحول الطين إلى حجر طيني عندما يفقد الجزء الأكبر من محتوياته المائية نتيجة للجفاف أو زيادة الضغط الواقع عليه بحيث يفقد لدانته .

٣) الطين (الحجر الطيني الصناعي) Shales : ينتج هذا الصخر عن الحجر الطيني نتيجة لزيادة الضغط الذي يفقده كل محتوياته المائية ويكسبه خاصية الترتيب المصنعي أو الترتيب الورقي «التورق» Lamination . ولذلك يتميز صخر الطين بظاهرة التسخخ الصخري Fissility حيث يمكن فصله أو تقسيمه في هيئة ورقية Laminae ، وتوجد هذه الخاصية إلى احتواء صخر الطين على بعض نشور دقيقة من المعادن الصفائحية مثل الميكا ، ترتب نفسها تحت تأثير الضغط في مستويات التقشر ، وقد تحتوي بعض صخور الطين على شوائب عضوية دقيقة أو بترولية فتكسبها اللون القاتم أو الأسود .

٤) الطين الحراري Fire clay : وهو صخر الطين الذي يتلوه من الجير والقلويات والحديد يكتسب خاصية مقاومة الاحتراق Refractory . ويوجد الطين الحراري عادة تحت طبقات الفحم حيث تندر السواد الجيرية والقلوية والحديدية إذ أن التباينات التي تفصلت تكون قد امتصتها .

٥) مارل Marl : عبارة عن صخر طيني يحتوي على نسبة عالية من الجير (كربونات الكالسيوم) . ويعتقد البعض أن صخر المارل عبارة عن صخر طيني يحتوي على كمية كبيرة من حبيبات الرمل الدقيقة جداً بدلاً من كربونات الكالسيوم أو قد يتواجد الجير بنسبة قليلة مع الرمل الدقيق الحبيبات .

الصخور الرسوبية الكيميائية النشأة

يمكن تمييز الأنواع الآتية من الصخور الرسوبية الكيميائية على أساس تركيبها :-

١- صخور رسوبية جيرية Calcareous rocks : تتكون نتيجة ترسبه

كربونات الكالسيوم من المحاليل الجيرية المحتوية على يكرونات كالسيوم ذائبة . وأهم أنواعها :

(١) الحجر الجيري (غير العضوي) Inorganic limestone : وهو صخر أبيض أو رمادي اللون إذا كان نقيا ، ولكنه غالبا ما يحتوي على شوائب تكسبه ألوانا مختلفة .

(٢) الحجر الجيري البطروخي (السرقي - الأوليتي) Oolitic limestone : يتكون من حبيبات كروية صغيرة جداً نتيجة تفاعل كيميائي بين محاليل الأملاح في مياه البحار والبحيرات ، يؤدي إلى ترسيب كربونات الكالسيوم في طبقات رقيقة حول نواة دقيقة (مثل حبة رمل أو فتات صدفة حيوان) في هيئة كريات صغيرة (سرقيات) تتماسك مع بعضها بآلة مادة لاحمة غالبا ما تكون جيرية .

(٣) ترافرتين (سترجمي) Travertine, calc-inter : وهي رواسب جيرية تتكون حول الينابيع الحارة ، ومن بينها انتصاعدة الحملة بحلول يكرونات الكالسيوم ، حيث تنفد غاز ثاني أكسيد الكربون بمجرد تعرضها للجو فتترسب كربونات الكالسيوم على هيئة كتل من مسحوق أبيض متماسك .

(٤) ستلاكتيت ، ستلاجيت Stalactite, stalagmite : تتكون هذه الصخور في هيئة أعمدة جيرية مخروطية الشكل تتدل من سقف الكهوف Stalactite أو ترتفع على أرضيتها Stalagmite (شكل ٤٣) بمجرد تعرض محاليل يكرونات الكالسيوم الجيرية إلى فقدان ما تحتويه من غاز ثاني أكسيد الكربون ، فتترسب كربونات الكالسيوم .

(٥) دولوميت Dolomite : يتكون من كربونات الكالسيوم وكربونات الماغنسيوم بسبب مختلفة من كل منها نتيجة تبادل كيميائي بين عنصرى الكالسيوم والماغنسيوم . وقد يتم هذا التبادل بين المحاليل الموجودة في مياه البحر ، أو قد ينشأ الدولوميت نتيجة إحلل عنصر الماغنسيوم الموجود في محاليل جارية على الكالسيوم الموجود في الصخور الجيرية السابقة للتكوين . وبطريقة مماثلة تتكون كربونات الحديد التي تسمى « خام حديد المستنقعات » Bog iron ore .

ب - صخور رسوبية سليكية Siliceous rocks : تتكون من ترسب السيليكا مثل :

(١) فلينت (صوان) Flint : صخر قاتم ، أسود أو رمادى اللون يتكون من خليط من السيليكا المتبلورة وغير المتبلورة في هيئة عقد أو درقات Concretions مختلفة الحجم ، ويحتوى عادة على بعض الشوائب الملونة مثل أكاسيد الحديد أو الماغنسيوم . وأحيانا يتكون الفلينت من جيبات أو كريات صغيرة جدا في هيئة طبقات رقيقة بين طبقات الصخور الرسوبية الأخرى .

(٢) شبرت Chert : وهو نوع من الصخور السليكية غير النقية التي تحتوى على نسبة عالية من الجير ويتكون عادة من حبيبات دقيقة جدا من سيليكا غير متبلورة في هيئة طبقات رقيقة بين الصخور الجيرية .

(٣) جيزيريت (سترسيليكي) Geyserite (Siliceous-sinter) : ويتكون من ترسب مادة السيليكا المتصاعدة مع مياه الينابيع الحارة المتفجرة التي تسمى جيزير .

(٤) الكاولين (الطين الصيني) Kaoline : يتكون من سيليكات الألومنيوم

المائية المتبقية من تحت وتحلل معادن الفاسبار (أرتوكلاز) المكونة للصخور النارية وخاصة الجرانيت . وقد تجرف مياه الأمطار هذه المواد المقتة وتحملها إلى حيث ترسب في هيئة طبقات .

حجرات صخور رسوية ملحية Saline deposits : يؤدي تبخر مياه البحيرات والبحار المقفولة إلى تركيز المحاليل الملحية الموجودة بها ثم ترسيبها في هيئة طبقات متعاقبة ، تبدأ بطبقات الأملاح القليلة الذوبان في الماء . ومن أشهر الرواسب الملحية ، تلك الموجودة بأواسط ألمانيا (ستاسفورت) والتي توضح تعاقب ترسيب الأملاح ، مبتدئة بالكلوميت ثم الكالسيت ، يليها أملاح الجبس ، ثم أنهيدريت ، وجعلها ملح الطعام ، ثم بوليهايت Polyhalite . (كبريتات كالسيوم وماغنسيوم وبوتاسيوم + ماء) ، ثم كيزيريت Kieserite . (كبريتات الماغنسيوم المائية) ثم كارنايت Carnalite (كلوريد البوتاسيوم والماغنسيوم المائية) . وتوجد الرواسب الملحية في مناطق متعددة في مصر فيكثر صخر الجبس في الصحراء الشرقية وعلى ساحل البحر الأحمر ، ورواسب ملح الطعام في ملاحات إدكو ورشيد والمكس ورواسب التطرون (كربونات العنوديوم المائية) مع أملاح أخرى بوادي التطرون . وأهم الصخور الرسوية للملحية :

(١) الجبس Gypsum : يتكون من حبيبات دقيقة من كبريتات الكالسيوم المائية ترسب في طبقات ، وأحيانا في صفائح أو كتل ذات هيئة ليفية . ويعتمد الجبس أول الصخور الملحية التي ترسب بكميات ضخمة نتيجة تبخر مياه البحيرات والبحار المقفولة عندما يتبخر $\frac{٣٧}{١٠٠}$ من الماء .

(٢) أنهيدريت Anhydrite : يتكون بترسيب كبريتات الكالسيوم اللامائية

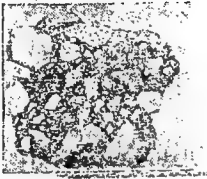
مع الصخور الملحية الأخرى مثل الجبس ومالح الطعام . ويرسب الأنهدريت من مياه البحر تحت درجة حرارة متوسطة (٢٥° م) في هيئة طبقات غالبا ما تكون متبادلة مع طبقات الجبس ، ولذلك يسود الاعتقاد أن هذين النوعين من الرواسب الملحية يتكونان بطريقة دورية سنوية Annual أو فصلية Seasonal . أما بالنسبة لأولية تكوينها فالاحتمال الكبير هو ترسب الكبريتات اللامائية أى الأنهدريت أولا ، ثم يتحول هذا إلى كبريتات مائية أى جبس :

٣) الملح الصخري Rock salt : ويتكون هذا الصخر في حالته النقية نتيجة ترسب كلوريد الصوديوم من مياه البحيرات بسبب البخر الشديد (عندما يتبخر أكثر من ٩٠٪ من ماء البحيرات) بعد ترسب أملاح الكبريتات . وغالبا ما يحتوي الملح الصخري على بعض شوائب من أملاح البوتاسيوم مثل سيلفين (بوكل) Sylvine ، وعادة ما توجد طبقات الملح الصخري فوق طبقات الرواسب الملحية الكبريتاتية مثل أنهدريت وجبس .

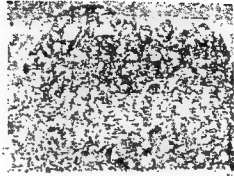
٤) الرسوبات الملحية البوتاسية Potas salts : ترسب بعد الملح الصخري إذا ما استمر تبخر الماء لدرجة يشبع فيها المحلول بهذه الأملاح المعروفة بشدة قابليتها للذوبان في الماء . وتتواجد الرواسب البوتاسية إما مختلطة مع الملح الصخري كشوائب فيه ، أو تتكون في طبقات رقيقة تمثل طبقات الملح الصخري . وأهم هذه الرواسب البوتاسية هي سيلفين و كارناليت (بوكل ، ما كل ٦ - ٩ يد) وكاينيت (بوكل ، ما كل ١ - ٣ يد) Kainite .

الصخور الرسوبية العضوية

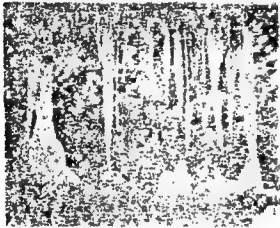
تنشأ الصخور الرسوبية العضوية نتيجة تراكم بقايا الكائنات الحية ،



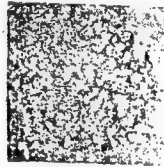
(شکل ۱۱) گریشیا



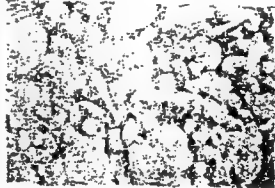
(شکل ۱۰) کونجیورلان



(شکل ۱۳) ستلاکیت وندلاپیت



(شکل ۱۲) شریجه میکروسکوپی
تین میپان السکواتر فی المجر
الزمی (۲۵ X)



(شکل ۱۴) جبر اولی اورامینیفور (مکیبر ۱۰۰) (شکل ۱۵) صخر مارلی صدق

الحويانية منها والنباتية، في طبقات مميكة ، وتحللها بواسطة الفطريات والبكتريا خلال أزمنة طويلة ، ثم تماسك مع بعضها في هيئة صخور ، وذلك إما مجرد الضغط الواقع عليها من الطبقات التي تعلوها ، أو نتيجة عملية اختزال أو تقمع (في البقايا النباتية) تؤدي إلى تماسكها وتصلدها . ويمكن تمييز نوعين من الصخور العضوية .

١- صخور عضوية حيوانية : وتتكون من مواد عضوية جيرية ، سيليكية أو فوسفاتية .

(١) الصخور العضوية الجيرية : مثل الحجر الجيري العضوي Organic Limestone : وهو أهم الصخور الجيرية وأكثرها انتشارا ، ويحكون من تراكم وتحلل فسور وهياكل الحيوانات البحرية بعد موتها . وغالبا ما تتكون الهياكل العظمية لهذه الحيوانات من كربونات الكالسيوم ، كربونات الماغنسيوم ، ثاني أكسيد السيليكون وكذلك فوسفات الكالسيوم . ويحكون الحجر الجيري العضوي بصفة أساسية من البقايا الجيرية للحيوانات في هيئة حبيبات غاية في الصغر متماسكة مع بعضها في كتل أو طبقات . وقد تمتزج الصخور الجيرية على نسبة كبيرة من كربونات الماغنسيوم وتعرف حينئذ بالمولوميت (ص ١٢٢) . وتسمى الصخور الجيرية حسب نوع الحفريات التي قد تكون سائدة الانتشار فيها مثل الحجر الجيري المرجاني Coral Limestone حيث يكثر وجود الهياكل العظمية للمرجان ، والحجر الجيري الفوالمينيفيري Foraminiferal Limestone (شكل ٤٤) أو حجر جيري صدفي Shelly Limestone (شكل ٤٥) بصفة عامة إذا كانت الحفريات الموجودة ذات أصداف وعمارات مختلفة الأنواع

الطباشير Chalk : نوع من الحجر الجيري العضوى يتميز بلونه الأبيض أو الأبيض المغبر (رمادى خفيف) ونعومة ملمسه وقلة صلابته ، ويتكون فى مياه البحار العميقة من حبيبات دقيقة من قشور هياكل الحيوانات الأولية الوحيدة الخلية المعروفة بالفوارنيفيرا .

٢) الصخور العضوية السيلكية : تتكون من ترسب وتراكم بقايا الحيوانات ذات الهياكل العظمية السيلكية ومنها :

الرواسب الراديولارية Radiolarian ooze : تتكون فى المياه البحرية العميقة نتيجة تجمع بقايا الحيوانات البحرية ذات الهياكل السيلكية المعروفة باسم راديولاريا .

٣) الصخور العضوية الفوسفاتية Phosphate rocks : تتكون أساسا من فوسفات الكالسيوم الناتج من تراكم إفرازات بعض الطيور أو تكسب بقايا الهياكل العظمية الفوسفاتية لبعض الميراثات البحرية ومنها :

جوانو Guano : وهى مادة خفيفة بنية اللون ذات رائحة نشاذية نفاذة تتكون من إفرازات الطيور فى بعض الأماكن الجافة . وتتواجد رواسب الجوانو غالبا على الجزر الصغيرة حيث تكثر الطيور (مثل الجزر الصغيرة التى تقع بالقرب من شاطئ بيرو القريب) .

صخر الفوسفات Phosphate rock : يتكون من فوسفات الكالسيوم مع مواد أخرى مثل الجبس فى هيئة طبقات أو درنات أو تكاوين عسبية Lenticular formations فى طبقات الحجر الجيري أو الرمل . وينتج صخر الفوسفات من ترسب عظام الأسماك والزواحف وتحللها ، ثم حدوث تفاعل كيميائى بين الأملاح الموجودة فى مياه البحار والمواد التوفغورية الناتجة من

هذا التحلل . وتوجد طبقات الرواسب القوسفانية في مناطق الواحات الخارجية والداخلية بالصحراء الغربية . وكذلك في القصير والسباعية .^١

ب- صخور عضوية نباتية : تنتج عن تكسب البقايا الذاتية ثم تعفنها وتحللها ونفجها ، وتتكون إما من مواد سيليكية أو كربونية .

(١) الرسويات الدياتومية *Diatomaceous ooze* : تتكون في المياه العذبة أو المالحة نتيجة تجمع الهياكل السليكية للطحالب المعروفة باسم دياتوم .

(٢) الرسويات الكربونية « الفحمية » *Carbonaceous deposits* : تتميز باحتوائها على نسبة عالية من الكربون أو الهيدروكربونات نتيجة تنجم أو أخترال المواد النباتية التي تتكسب في المستنقعات ، أو للغابات التي تدفن تحت الرواسب البحرية أثناء طغيان البحر على الأرض . وتتم عملية تنجم هذه الرواسب النباتية في عدة مراحل تزداد في كل منها نسبة الكربون تدريجياً .

بيت *Peat* : هي مادة اسفنجية تشبه العباق أو البرسيم المجفف المضغوط ، لا تزال توجد بها آثار بعض الألياف والنبات الخشبية ، وينتج البيت في أول مراحل عملية الفحم ويحتوي على نسبة تقرب من ٥٥٪ من الكربون ، ويستعمل كمادة رخيصة للوقود يتصاعد منها دخان كثير أثناء الاشتعال .

ليجيت أو الفحم البني *Lignite or Brown coal* : يمثل المرحلة الثانية في عملية الفحم . وتظهر فيه بعض آثار النباتات النباتية بنسبة أقل من البيت ، ويزداد^١ في الغلابة فيصبح بيا مسودا . ويحتوي هذا النوع من الفحم

على نسبة من الكربون تتراوح بين ٥٥٪ إلى ٧٢٪ ، ولذلك يمكن اعتبار
أن نوع الليجنيت يكون في مرحلة تسبق الفحم البنى إذ أن متوسط نسبة
الكربون في الليجنيت ٩٠٪ وفي الفحم البنى ٧٠٪ ، هذا بالإضافة إلى عدم
وجود آثار للبنات النبائية الخشبية في الفحم البنى بجانب سواد لونه .

الفحم القطراني (الليتوميني) Bituminous coal : ويحتوى هذا النوع
على نسبة كربون تتراوح بين ٧٥٪ إلى ٩٠٪ ، ويختلف كثيرا في صفاته
ويعطى لجأ مدخنا « وطققة » أثناء الاحتراق ، وهذا هو النوع المستعمل
في الأغراض المنزلية .

أنثرايسيت Anthracite : وهو أصعب أنواع الفحم وأحسنها جودة حيث
يحتوى على نسبة عالية من الكربون ، تتراوح بين ٩٣٪ إلى ٩٨٪ ، ويحترق
بلهب خافت غير مدخن تنتج عنه حرارة عالية جدا ولذلك يستخدم في الصناعة .

ثالثا - الصخور المتحولة

يعرّف الصخور بأنه التغير الذى يطرأ على صخور سابقة التكوين (نارية
أو رسوبية) وإعادة بنائها نتيجة تغير الظروف الطبيعية مثل درجة الحرارة
أو الضغط أو كليهما معا . وغالبا ما يؤدي التحويل إلى تغير نوع التسيج في
الصخور الأصلية أو التركيب المعدنى بما يتناسب مع التغيرات الطارئة التى
تعرضت لها هذه الصخور : فالعادن التى قد تكون في حالة استقرار تحت
ظروف معينة من الحرارة والضغط قد تصبح في حالة غير مستقرة تحت الظروف
الجديدة التى قد تكون قاسية فتزعزع استقرارها وبنائها فتضطر حينئذ إلى
التغير والتحول لمواجهة الظروف الجديدة .

والأسباب الرئيسية التي تؤدي إلى تحول الصخور هي الحرارة العالية أو الضغط العالي أو كليهما، ويساعد وجود الماء، أو المحاليل المائية بصفة عامة، في إتمام عملية التحول. وتنتج الحرارة من تداخل مواد الصهير والمحاليل المائية الحارة في صخور المكان فترتفع درجة حرارتها بالتماس، ويعرف التحول حينئذ بالتحول الحراري أو التماسي Thermal or contact metamorphism، ويحدث في المنطقة للملاصقة أو المجاورة لمادة الصهير المتداخل وهي منطقة محدودة عمليا تعرف باسم حلقة التحول Metamorphic aureole، ولذلك يعرف هذا النوع من التحول أيضا باسم التحول المحلي Local metamorphism.

ويؤدي الضغط المرتفع غير المصحوب بغير كبير في درجة الحرارة في مناطق التكسر أو التفتق إلى تغير أو تحول طفيف نسبيا في الصخور (الموضعية) الواقعة على جانبي هذه القوالب، ويعرف هذا النوع بالتحول الموضعي أو التحول بغير الأوضاع Dislocation metamorphism.

أما الضغط المرتفع المصحوب بحرارة عالية والناجم من تحركات القشرة الأرضية التي تشمل مناطق شاسعة (الحركات البانية للجبال Orogenic movements) فإنه يؤدي إلى تحول واسع النطاق يمتد في أقاليم كبيرة ومساحات واسعة ولذلك يعرف بالتحول الإقليمي Regional metamorphism، ويوصف أحيانا بالتحول الديناميكي Dynamic metamorphism إذ أنه ينتج عن حركة.

التحول الحراري (التماسي)

يحدث التحول الحراري في الصخور التي تتداخل فيها مادة الصهير - عادة ما تكون مصحوبة بأنجرة ومحاليل شديدة الحرارة - ويكون التأثير الحراري لهذه المواد المتداخلة على أشده في المناطق المجاورة لها، ويقل تدريجيا بعيدا

عن منطقة الناس التي قد يتراوح اتساعها بين عدة أمتار ومئات الأمتار .
ويتوقف ذلك على شدة الحرارة الناتجة عن تداخل الصهير ، أى على كثافة مادة
الصهير نفسها ودرجة حرارتها وكذلك على نوع صخور المكان المحيطة بها ،
فبينما يكون التحول الناشئ من تداخل الجرد الصغيرة طفيفا ، قد يؤدي
التأثير الحرارى للجرد الكبيرة وكثلا للأكوايش إلى تحول واضح يمتد أثره
إلى مسافات بعيدة في صخور المكان .

ويتوقف نوع الصخور المتحولة بالحرارة ، أى نوع المعادن الجديدة
التكوين في حلقة التحول ، على نوع صخور المكان الأصلية أى التركيب
المعدني لها ، وكذلك على التركيب الكيميائي للمادة المصهورة المتداخلة :
فمثلا يتحول الحجر الرملى إلى نوع آخر أصعب وأشد تماسكا ، ذى حبيات
متبلورة من الكوارتز أكبر نسبيا من حبيات الرمل الأصلية ، ويعرف هذا
الصخر باسم كوارتزيت Quartzite بينما تتحول الصخور الطينية ذات
الحبيات الدقيقة إلى صخور أشد صلابة تسمى هورنفلز Hornfels وتحتوى
على معادن جديدة ومميزة هى معادن سليكات الألومنيوم مثل أندالوسيت
(لو، س) Andalusite ، سيليمانيت Sillimanite ، كورديريت (سيليكات
لو، ح ، ما + ماء) Cordierite ، شتوروليت (سيليكات لو، ح ، ما ، م
+ ماء) Steurolite وغيرها ، وأما الصخور الجيرية فلأنها تتحول إلى رخام
Marble قد تتواجد به معادن جديدة إذا ما كان الصخر الجيرى الأصلى
غني بقى .

ومن المظاهر الجديدة للصخور المتحولة بالحرارة تقسم نسيج الصخور
الأصلية إلى نسيج دى حبيات متبلورة متساوية إما دقيقة أو متوسطة الحجم
ومزاورة في إحكام وتقارب شبه منظم بحيث تشبه البلاط (أو المزاياكو)

في تقارب حجم حبيباته وإحكام ترابطها ، ولذلك يعرف نسيج هذه الصخور بالنسيج «الموازيكي» Mosaic texture . وأهم الصخور المتحولة بالحرارة هي :

١) الصخور المتحولة عن أصل وسوبي رملي :

كوارتزيت : ينتج عن تحول الحجر الرملي ، ويتكون أساسا من حبيبات متبلورة من معدن الكوارتز . وقد تحتوي بعض الأنواع على شوائب معدنية أخرى تمثل الميكا أو الفلسبار أو أكاسيد الحديد . ولون الكوارتزيت أبيض مصفر (لون الرمل) إذا كان نقيا ، أو قد يتلون حسب الشوائب المعدنية الموجودة به فيتخذ اللون الأحمر القاتم أو الأحمر المصفر عن شوائب حديدية . ويميز الكوارتزيت بنسيج موازيكي ذي حبيبات متوسطة الحجم متماسكة مع بعضها بواسطة أغشية أو أغشية رقيقة جدا من الميكا أو الشوائب المعدنية الأخرى . أو قد تتلحم الحبيبات تماما ذاتيا ناتجا من تراص الحبيبات مع بعضها بإحكام دون وجود مسافات بينها ، ومن ثم ينتج شدة صلابة هذا الصخر .

٢) الصخور المتحولة عن أصل رسوبي طيني :

مورقلس : ينتج من التحول الحراري للصخور الطينية والطينية ، وأحيانا من بعض الصخور الطينية الجيرية (مارل) . ويكون المورقلس من حبيبات دقيقة جدا (قد يصعب رؤيتها بالعين المجردة) من معادن سيليكات الألومنيوم التي تتكون من مكونات الصخور الأصلية مضافا إليها بعض مكونات مادة الصهر المتداخل ، مثل معادن أندالوسيت ، سيلمانيت ، شتيروليت ، كورديريت وأحيانا ولاستونيت (كاس ا) Wallastonite ، دايميد (كا ، ما (س ا) ، Diopside . وقد توجد كذلك بعض

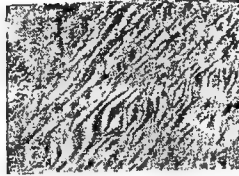
أكاسيد الألومنيوم مثل كوراندوم (لو، ا) وسيليل (ما، ا، لو، ا) .
وبسود اللون الرمادي على الألوان الأخرى في صخور المورفلس، ونسجها
حيبي غالباً ما يكون دقيقاً، وقد توجد أحياناً بعض البلورات الكبيرة الحجم
« بورفيروبلاست » orphyroblast في وسط موازيكي دقيق فيتشابه حينئذ
ظاهرياً مع النسيج البورفيرى للصخور النارية تحت السطحية.

٣) الصخور المتحولة عن أصل رسوبي جبرى :

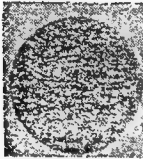
الرخام : تتحول الصخور الجبرية النقية إلى رخام أبيض اللون ذو نسيج
موازيكي منتظم، يتكوّن من حبيبات دقيقة أو متوسطة الحجم من معدن
الكالسيت بصفة أساسية . والمعروف أن الصخور الجبرية نادراً ما تكون
نقية، وتحتوى في معظم الأحيان على كربونات الماغسيوم (ماجنييت)
بالإضافة إلى شوائب أخرى مثل أكاسيد الحديد ومكونات طينية و كربونية،
ولهذا فعاليًا ما يكون الرخام مختلف الألوان فنه الأحمر أو الأخضر أو قد
يكون مغططاً أو متقوشاً بهذه الألوان أو باللون الأسود الناتج من بعض
الشوائب الكربونية مثل الجرافيت. ويحتوى الرخام الناتج من تحول الصخور
الجبرية غير النقية - مثل الدولوميت، أو صخر المارل الغنى جداً بكربونات
الكالسيوم والرمل - على معادن إضافية مميزة للصخور المتحولة بالحرارة مثل
معدن ولاستونيت، دايميد، تريموليت (سيليكات كا، ما) Tremolite ،
ومعدن الجمارت الكالسية مثل جروسولاريت Grossularite .

التحول الإقليمي أو الهيدناميكي (التحول الضغطى الحرارى)

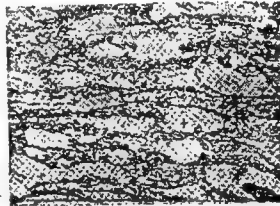
ينشأ التحول الإقليمي نتيجة تغير صخور سابقة التكوين في مناطق إقليمية
شاسعة تحت تأثير الضغط العالى المصحوب بارتفاع درجة الحرارة والناتج من



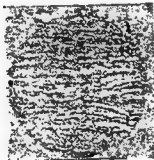
(شكل ٤٦) يبين التركيب اللوحني في صخر الادرز



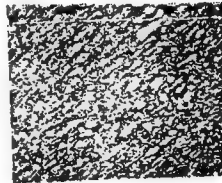
(شكل ٤٨) شريحة
ميكروسكوبية تبين النسيج
التربطي في صخر النيس
(تكبير ١٠ X)



(شكل ٤٧) يبين التركيب القلبي في صخر نيس



(شكل ٥٠) شريحة ميكروسكوبية
تبين النسيج التيمتوزي في صخر
التيمت (تكبير ١٥ X)



(شكل ٤٩) يبين التركيب الصفاحي في
صخر تيمت

محركات القشرة الأرضية . وغالبا ما يؤدي هذا النوع من التحول إلى ترتيب المعادن المكونة للصخور الأصلية (رسوية أو نارية) في نظام يناسب الظروف الجديدة . وقد تشد وطأة التحول إلى درجة تزول فيها معالم الصخر الأصلي تماما ، فقد تنكسر أو تفتت بعض المكونات المعدنية ، وأحيانا قد تنصهر أو تنوب ثم تستعيد كيانها من جديد ، متبلورة ومصقوفة بحيث تشغل أقل حيز ممكن تحت تأثير الضغط الواقع عليها ، وذلك بأن تترتب المعادن الجديدة بحيث يكون الإتجاه الطولي لبلوراتها متعامداً على إتجاه الضغط . وينتج عن هذا الترتيب تجمع المعادن في هيئة طبقات رقيقة أو شرائط Bands ، ورفات Folia ، وقائى أو صفحات Laminae ، متوازية ومتعامدة على إتجاه الضغط ، ويوصف الشيع حينئذ بأنه شريطى Banded texture ، ورقى Foliate ، صفحى Laminar أو شيتوزى Schistose . وهذا النسيج مميز للصخور المتحولة ، وتوجد فيه بلورات المعدن الواحد مرتبة في صفوف أو صفائح متوازية قد تكون متصلة أو متقطعة ومتبادلة مع صفائح بلورات المعادن الأخرى . أما بالنسبة للمعادن الجديدة التى قد تتكون نتيجة التحول الإقليمية فهى قليلة وليست مميزة ومنها : معدن سميست (ميكائونوية التكوين) Sericite ، كلوريت (سيليكات لو ، ح ، ما + ما) ، وكذلك معادن أخرى تحتاج إلى حرارة عالية بجانب الضغط المرتفع مثل كيانيت (لو س ا م) Kyanite وسيليانيت ومعادن الجارنت . وأهم الصخور المتحولة بالضغط والحرارة هى

(١) صخور متحولة عن أصل رسوى :

الإردواز Slate · صخر متحول عن صخور الغلغل نتيجة ضغط مرتفع

وحرارة منخفضة نسبياً ، ويميز بخاصية التفسخ الصخري حيث يمكن فصله إلى ألواح رقيقة (شكل ٤٦) تتكون من حبيبات دقيقة من مواد طينية شديدة التماسك فيما بينها . ويختلف لون الإردواز من الأسود أو الرمادي إلى الأحمر أو الأخضر نتيجة وجود شوائب كربونية أو حديدية أو بعض المعادن المتخضراء مثل الكلوريت . ويميز الإردواز نتيجة أولى مراحل التحول الضغطى ، فإذا زاد الضغط وارتفعت درجة الحرارة فقد يتحول الإردواز إلى صخر شيسى (ميكاشيست Mica-schist) حيث تترب بلورات المعادن المكونة له في صفائح رقيقة جداً فيظهر الصخر في هيئة شستوزية .

٢) صخور متحولة عن أصل ناري أو رسوبي :

النيس Gneiss : صخر متحول إما عن أصل ناري ويسمى «أورثونيس» Orthogneiss أو عن أصل رسوبي يسمى «باراغنييس» Paragneiss . يتكون من حبيبات كبيرة متبلورة مرتبة في هيئة شرائط متميكة ، قد تكون متقطعة على عدسية الشكل (شكل ٤٧، ٤٨) ، غالباً ما تتكون من معدن واحد وتترتب متوازية ومبادلة مع بعضها . يختلف لون النيس تبعاً للمعادن المكونة له ، ويعرف صخر النيس باسم الصخر الأصلي له مثل :

النيس الجرانيتي Granitic gneiss : وهو الناتج عن تحول صخر الجرانيت .

النيس دايوريتي Dioritic gneiss : وهو دايوريت متحول بالضغط والحرارة .

وقد يعرف صخر النيس كذلك باسم المعدن السائد في تكوينه مثل :
نيس ماسكوفيتى *Muscovite gneiss* ، نيس بايوتيتى *Biotite gneiss* أو
نيس هورنبلندى *Hornblende gneiss* . ويعبر صخر النيس نتيجة مرحلة
تحول ضغطى حرارى سابقة لمرحلة تكوين صخور الشيت .

شيت Schist : صخر متحول يتكون من صفائح رقيقة متشابهة في
تركيبها المعدنى ، ومتصلة (شكل ٤٩ ، ٥٠) أى غير مقطعة كما فى صخر
النيس . وتتكون هذه الصفائح غالباً من معادن قشرية *Flaky minerals* مثل
الميكال والكلوريت والتالك ، أو أليافية مثل هورنبلند . وتترتب الصفائح
متوازية وتحصر بينها حبيبات دقيقة متبلورة من المعادن الأخرى مثل الكوارتز
الذى يعتبر كعدن أساسى ، بجانب بعض المعادن الإضافية مثل جارت ،
سيامانيت ، شتوروليت ... الخ . وينتج عن هذا الترتيب الصفائعى النسيج
الشتورى المميز لصخور الشيت . ويسمى صخر الشيت حسب التركيب
المعدنى للصفائح المكونة له مثل :

ميكاشيت : بايوتيت شيت *Biotite schist* ويتكون أساساً من
معدن البايوتيت فى صفائح والكوارتز بينها فى حبيبات متبلورة دقيقة .
ماسكوفيت شيت *Muscovite schist* سيريسيت شيت *Cericite schist* .
وإذا وجدت المعدن الإضافى غلبة كبيرة فى الشيت الميكافى فقد يسمى كذلك
باسم هذا المعدن مثل جارت - بايوتيت شيت *Garnet-biotite schist* أو
شتوروليت - ميكاشيت *Staurolite-mica schist* الخ :

تالك شيست *Talc schist* : صخر متحول رمادي مخضر إلى أخضر مصفر ذو ملمس دهني أو صابوني يتكون أساسا من قشور معدن التالك التي تكون الصفائح وأحيانا تحتوى هذه على قليل من الكلوريت والميكا . هذا بجانب معدن الكوارتز الذي يكون الجسيمات الدقيقة في الرقائق المتبادلة مع صفائح التالك .

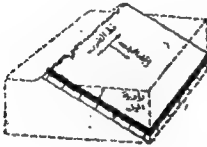
هورنبلند شيست *Hornblende schist* : ويتكون أساسا من معدن المورنبلند مع معادن إضافية مثل الكلوريت والميكا وأحيانا بعض البلاجيوكلاز ومن هذا النوع أكتينوليت شيست *Actinolite schist* وتريموليت شيست *Tremolite schist* .

البنيات الجيولوجية

البنيات (التراكيب) الجيولوجية

(هلم الشاوي)

من المعروف أن الصخور الرسوبية تتكون في بادئ الأمر في هيئة طبقات أفقية متعاقبة نتيجة ترسيب الفتات المخروى تحت مستوى سطح الماء في أحواض الترسيب ، ثم تصلدها أي تدبجها . ولكن كثيراً ما تتواجد مثل هذه الصخور فوق مستوى سطح الماء في أوضاع مختلفة منها ، الطبقات المائلة inclined (شكل ٥١) ، أو تشكلات مندمية معجده أو مثنية أي طبقات مطوية Folded (أشكال ٥٨ - ٦٨) ، أو متصدعة أي متقلقة Faulted ،



شكل ٥١) بين خط امتداد (مضرب) طبقة مائلة

(أشكال ٦٩ - ٧٧) أوبها

أثار كسور فاصلة أي متفصلة

Jointed . فكيف حدثت هذه

التشكلات الهندسية ، وما

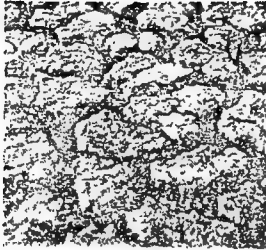
أسباب حدوثها ؟ من البديهي

أنه قبل إجابة التساؤل على

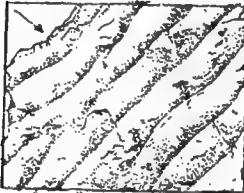
كيف ولماذا لابد من التعرف أولاً على ماهية هذه التشكلات الهندسية البنائية

للقشرة الأرضية ، أي البنيات الجيولوجية أو التراكيب الجيولوجية Geologic

structures . ويمكن التعرف على نوعين أساسيين من هذه البنيات



(شكل ٥٢) صورة تبين
الانتفاخ الطينية في وادي
النيل



(شكل ٥٣) صورة تبين علامات
النيم (التمزج) في الحجر الرملي
النوبي



(شكل ٥٤) صورة تبين التماثل
المتقاطع في الحجر الرملي النوبي
(الواجهات الخارجة)

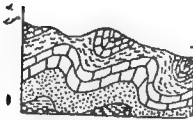
أولاً - البنيات الأولية Primary structures : وهي التي تتكون في المعخور الحاوية لها نتيجة تأثير الظروف البيئية السائدة أثناء عملية ترسيبها وتصلدها ، مثل : التشققات الطينية (شكل ٥٢) علامات التموج أو التيم Ripple marks (شكل ٥٣) ، التطابق الكاذب ، التيارى أو المقاطع False, current or cross bedding (شكل ٥٤) ، وكذلك الفواصل العمداية Columnar jointing (شكل ٣٤) ، التي تتكون أثناء عملية تبريد الحم (لافا) وتصلدها ، والتركيب الانسيابي Flow structure (شكل ٣٦) ، الناشئ من ترتيب المعادن - وخاصة النوع الإبرى أو العمداي وكذلك الصفائحى - في اتجاه مريان أو إنسياب الحم على سطح الأرض أثناء تبريده وتصلده ، وأمثلة أخرى عديدة سيأتى الحديث عنها في فصل لاحق .

ثانياً - البنيات الثانوية Secondary structures : وهي تلك التراكيب التي تتكون في المعخور في وقت لاحق بعد إتمام عملية ترسيبها وتصلدها ، وتنتج تحت تأثير قوة حركية فعالة قد تؤدي إلى تني المعخور وتجمدها أى طيها ، أو تؤدي إلى تصدعها أى تقطيعها ، أو إصابتها بالفواصل . وفيما يلى وصف موجز لبعض التراكيب الثانوية الهامة ، أما وصف التراكيب الأولية فقد خصص له مكان آخر مناسب .

عدم التوافق

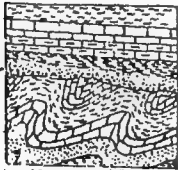
سبق القول بأن المعخور الرسوبية تتكون في بادئ أمرها في هيئة طبقات متعاقبة ، عادة ما تكون أفقية ومتوازية ، الحديث منها فوق الأقدم عمراً . ويتم ذلك نتيجة الترسيب المستمر المنتظم ، فتوصف الطبقات في هذه الحالة بأنها متوافقة Conformable . ولكن أحياناً قد يحدث الترسيب المتقطع

أو يتوقف لفترة من الزمن لسبب أو آخر مما يؤدي إلى ضياع أو إنقراض جزء من الساج الطبقي المتعاقب بما يحتويه من سجل جيولوجي ، فتوصف الطبقات حينئذ بأنها غير متوافقة Unconformable . وعلى ذلك يمكن تعريف عدم التوافق Unconformity بأنه وجود سطح فاصل ، ناتج عن تأثير عوامل التعرية أو عن إقطاع الترسب ، بين مجموعتين من الطبقات ، وبمعنى آخر هو سطح تحت Erosion surface ، يمثل فترة زمنية نشطت فيها عملية التعرية والتحات وتناقصت أو انعدمت فيها عملية الترسب . ويتميز سطح التحات في أحيان كثيرة بوجود راق أي طبقة رقيقة من صخر الكونجلومرات ، يسمى الكونجلومرات القاعدي Basal conglomerate ، حيث يكون قاعدة المجموعة الصخرية التي تعلو سطح التحات .



تم ظاهرة عدم التوافق تحت تأثير عوامل مختلفة وفي مراحل متوالية ، وعلى ذلك

فهي ليست من البنيات الثانوية بالمعنى الصحيح وليست كذلك (شكل ٥٥) قطع بين تكوين سطح تحت من قديم إلى حديث .



من نوع البنيات الأولية ولكنها تم نتيجة إشتراك عوامل مختلفة وعلى مراحل متوالية كما يلي ، على سبيل المثال :

(شكل ٥٦) قطاع بين عدم التوافق بين مجموعتين من الطبقات متعاقبة ومتوافقة . يتم ترسيب مجموعة صخرية

٢) تتعرض هذه المجموعة الصخرية لحركة أرضية قد تكون جانبية كائنة تؤدي إلى تجمعها وطبها ، أو لحركة رأسية ترفعها عن مستوى سطح الترسيب، وفي كلتا الحالتين تتعرض هذه المجموعة الصخرية لتأثير عوامل التعرية.

٣) يتآكل السطح العلوي لهذه المجموعة الصخرية ويتعرض مما يؤدي إلى تكوين سطح تحت (س ص في شكل ٥٥) .

٤) قد تؤدي حركة أرضية أخرى لاحقة إلى هبوط هذه المجموعة الصخرية إلى ما تحت سطح البحر فتصبح قاعاً لحوض ترسيب جديد يتم فيه تكوين مجموعة أخرى من طبقات متعاقبة متوافقة فيما بينها فوق سطح الصعات .. وغالباً ما تبدأ دورة الترسيب الجديدة بالكونجولمرات القاعدية (شكل ٥٦) .

ويمكن التعرف على أربعة أنواع من عدم التوافق (تتكل ٥٧) .

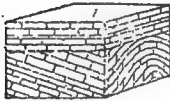
١- تباین Nonconformity : حيث ترتكز صخور رسوبية طبقية فوق صخور غير طبقية قد تكون نارية أو متحولة .

ب) عدم تطابق زواي Angular discordance : حيث يفصل سطح الصعات (التعرية) بين وحدتين من صخور طبقية مختلفتين في وضعهما من حيث اتجاه ومقدار الميل .

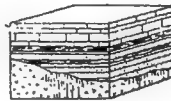
ج) تخالف Disconformity : حيث يوجد وحدتين متوازيتين من صخور طبقية يفصل بينهما سطح تحت غير مستو ذو تضاريس واضحة .

د) شبه توافق Paraconformity : حيث تكون الطبقات كلها متوازية

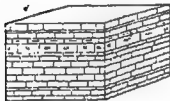
وسطح الإتصال - أو الإتصال الظاهري - بين الوحدتين ليس إلا مستوى سطح تطبق . وهذا السطح الفاصل بين الوحدتين يمثل تفرزاً معينة توقفت أثناءها عمليات الترسيب وانقطع التاج الطبقي ، وفي هذه الحالة يصعب التعرف على السطح الفاصل بين الوحدتين وخاصة عندما تكون الحفرات نادرة أو غير موجودة .



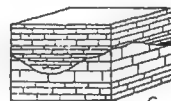
(أ) مستوى عدم تطابق زاحف



(ب) مستوى عدم تطابق



(ج) مستوى عدم تطابق



(د) مستوى عدم تطابق

(شكل ٥٧) بين أنواع عدم التوافق

الطيات

تتميز صخور القشرة الأرضية لتأثير قوى حركية كثيرة مختلفة النوع والإتجاه والمصدر والشدة . فقد تكون القوة كابتة ← Compression أو شاذة ← Tension أو إزدواجية ← Couple . أما إتجاه فعلها فقد يكون جانبياً أو رأسياً ، وموازياً ، مائلاً أو عمودياً على سطوح تطبق المصخور . أما مصدرها وشدتها فيتوقف على حالة وطبيعة جوف الأرض

والقشرة الأرضية ، وهناك آراء ونظريات مختلفة تفسر مصدر هذه القوى ويقضي الحال هنا على الخوض فيها .

تتعمل الصخور القشرة الأرضية تحت تأثير جهود هذه القوى فتتشوه وتتخذ أشكالاً أي بنيات (تراكيب) مختلفة . ويتوقف التشوه ، وبالتالي نوع البنية ، على مدى إفعال Strain الصخور تحت تأثير جهد Stress قوة ما . ويتوقف إفعال صخر ما على خواصه الطبيعية وعلى الظروف التي يتواجد فيها مثل : الحرارة والضغط . وهذان العاملان مرتبطان بالعمق الذي تتواجد فيه الصخور من سطح الأرض - ، ووجود المحاليل في المسافات البينية لمكونات الصخر وكذلك الرمي أي طول مدة الإفعال . بعض الصخور هشة أو قصفة Brittle قابلة للكسر والقسم والبعض الآخر لين أو مرن أي طيع Ductile قابل للانسياب تحت تأثير جهد قوة ما . وأحياناً تتواجد صخور هشة تحت ظروف معينة تكسبها حالة اللين أو المرونة فتتعمل كما لو كانت قابلة للانسياب كما هو الحال في الأعماق البعيدة من سطح الأرض حيث ترتفع درجة الحرارة والضغط . وعلى ذلك نجد أن الصخور التي تتواجد على أعماق بعيدة من سطح الأرض - على أبعاد قد تصل إلى مئات الكيلو مترات - تتعمل كما لو كانت لدنة Plastic فتساب تحت تأثير جهد القوى الناعمة مكونة تبعدات أو ثنيات أي طيات Folds . ويطلق لفظ نطاق الانسياب Zone of flow على تلك المنطقة البعيدة عن سطح الأرض التي تسود فيها الظروف الطبيعية المناسبة لتكوين البنيات (التراكيب) التي تتميز بوجود الطيات Folds . أما تلك الصخور التي تتواجد بالقرب من سطح الأرض - تحت ظروف تكاد تكون عادية من حرره وضغط - فلها تتعمل كما لو كانت هشة فتتكسر وتصدع في تلك المناطق التي تسمى نطاق التكسر Zone of fracture حيث

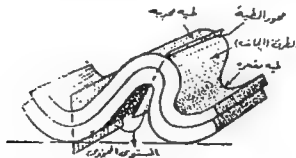
نموذ التراكيب التي تتميز بوجود التوائى Faults والتواصل Joints . و يذى
أن الطيعة لا تعرف مثل هذه الحدود النظرية الفاصلة بين كلا النطاقين ،
فالطيات غالباً ما تكون مصحوبة بفوائى وفواصل .

الطيات وأنواعها

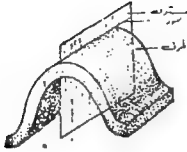
الطية هى تجمع أو إنشاء أو تموج يعيب صخور القشرة الأرضية وخاصة
النوع الرسوبى منها . وقد تكون الطية بسيطة Simple fold أى ثنية واحدة
ولكن غالباً ما تكون مركبة Composite fold مكونة من عدة ثنيات متصلة .
وتوصف الطية البسيطة حسب شكلها كما يلى :

أ - طية محدبة Anticline (شكل ٥٨) : ذات طبقات منثنية إلى أعلى
ويسمى أعلى نقطة أو جزء من هذه الثنية هامة .

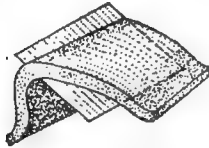
ب - طية مقعرة Syncline : ذات طبقات منثنية إلى أسفل ويسمى
أسفل جزء منها قعر Trough . أما تلك الأجزاء من الطبقات التى تكون جانبي
الطية سواء المحدبة أو المقعرة فتسمى جناحين Flanks أو طرفين Limbs .
ويسمى المستوى الذى ينصف الزاوية بين الطرفين المستوي المحورى Axial plane ،



(شكل ٥٨) يوضح الطية وأجزاءها



والخط الناتج من تقاطع هذا
المستوى مع سطح طبقة ما
في الطية يسمى محور الطية
Fold axis (شكل ٥٨).
وتوصف الطية حسب مقدار
ميل طرفيها ووضع مستواها
المحوري كما يلي :



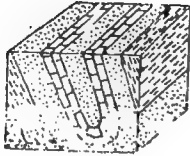
(شكل ٥٩) طية محدبة متماثلة وأخرى غير متماثلة

١) طية متماثلة Symmetrical fold : ذات طرفين مائلين بمقدار متساو
في اتجاهين متضادين على جانبي المستوى المحوري الذي يكون في وضع رأسي
(شكل ٥٩).

٢) طية غير متماثلة Asymmetrical fold : إذا اختلف مقدار ميل
الطرفين في الاتجاهين المتضادين على جانبي المستوى المحوري الذي يصعد وضعا
مائلين عن الوضع الرأسي (شكل ٥٩).

٣) طية متساوية أو متشابهة Isoclinal fold : ذات طرفين ميلان في
اتجاه واحد وبمقدار ميل متساو على جانبي المستوى المحوري الذي قد يكون
رأسيا، مائلا أو أفقيا، (شكل ٦٠).

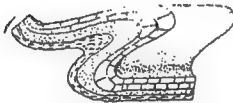
٤) طية مقلوبة Overturned fold :



(شكل ٦٠) طية مقلوبة - متماوية

إذا زاد ميل المستوي المحوري للطية عن الوضع الرأسى بدرجة تؤدي إلى قلب الوضع الطبيعي الأصلي للطبقات المكونة للطية بحيث يصبح السطح السفلى أصلاً للطبقات الطرف السفلى من الطية في وضع علوى

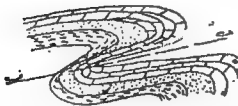
وتصبح الطبقات الحديثة التكوين تحت الطبقات الأقدم منها أى مقلوبة الوضع في الطرف السفلى من الطية . وتصبح الطية المقلوبة إذا مال طرفاها في إتجاه واحد وزاد ميل مستواها المحورى،



(شكل ٦١) طية محدبة مقلوبة

وبالتالى طرفها ، عن ٩٠° بالنسبة للوضع الرأسى (شكل ٦١) .

٥) طية مضطجعة أو نائمة Recumbent fold :



(شكل ٦٢) مضطجعة أو نائمة طية لتعلق على امتداد خط ف

إذا زاد ميل المستوى المحورى عن الوضع المقلوب لدرجة يكاد يصبح فيها أفقياً . وبذلك يميل الطرفان في إتجاه واحد، وقد يصيرا متوازيين وتكون الطبقات المكونة

للطرف العلوى من الطية في وضعها الطبيعي من حيث ترتيب تماقيها أما طبقات الطرف السفلى للطية فتصعد وضماً مقلوباً (شكل ٦٢)



١ شكل ٦٣ طية وحيدة الميل

٦) طية وحيدة الميل Monoclinical fold : تميل الطبقات في إتجاه واحد.

أي أنها طرف واحد، وعادة ما تكون جزءاً من تركيب كبير تكون فيه الطبقات أفقية أو مائلة بزاوية أصغر من زاوية ميل هذه الطية (شكل ٦٣) .

٧) طية مائلة المحور أو غاطسة Plunging fold : في كل الأنواع

السابقة يمتد محور الطية أفقياً موازياً لامتداد الطبقات على جانبي الطية ، أما إذا مال محور الطية عن الخط الأفقي في إتجاه إمتداد طبقاتها فإن الطية تنغرس أو تقور في مكان ما تحت سطح الأرض في هذا الإتجاه وبذلك تصبح مقفولة حينما يتقاطع خط إمتداد طبقات الجانبيين مع خط إمتداد محور الطية . وتسمى الزاوية



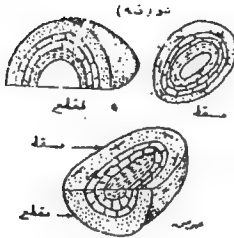
المحصورة بين محور الطية الناقطة والخط الأفقي زاوية النغرس

Plunge angle (شكل ٦٤) .

(شكل ٦٤) طية مجدبة غائرة (غاطسة)

٨) القبة أو القبو Dome : طية مجدبة تميل طبقاتها في جميع الإتجاهات

من نقطة متوسط قبتها ، وعادة ما يصخذ هذا التركيب شكلاً دائرياً أو مضروباً (شكل ٦٥) .



(شكل ٦٦) قبة وحوض

٩) الحوض أو القفصة

Basin : طية مقعرة تميل طبقاتها من جميع الاتجاهات نحو نقطة تتوسط قعرها (شكل ٦٥) .



(شكل ٦٦) طيات مرصعة

الطيات المركبة : تتكون من

عدة ثنيات محدبة ومقعرة متوالية

وهي إما تحدب مركب Anticlinorium

وهو تحدب كبير ذو إمتداد عظيم

يتكون من عدد كبير من طيات

صغرى محدبة تتبادل معها طيات

صغرى مقعرة (شكل ٦٦) ، أو

تغبر مركب. Synclinatorium وهو تغبر كبير ذو إمتداد عظيم مكون

من مجموعة طيات صغرى محدبة ومقعرة متوالية (شكل ٦٦) .

تواجد الطيات في الطبيعة

قد يصور الإنسان أن الطيات تتواجد في الطبيعة في صورة مثالية واضحة محدبة المعالم تطبق عليها جميع المواصفات المودجة المبررة لما حسب الأوصاف السابقة ، ولكن الحقيقة ليست كذلك ، فعالمنا ما تتواجد البنيات الجيولوجية ،



(شكل ٦٧) بين العلاقة بين الطيات وتكوين المرتفعات الطبوغرافية ومنها الطيات ، غير كاملة بل متآكلة في بعض أجزائها نتيجة تأثير عوامل التعرية على طول الزمن الجيولوجي ، فتظهر بصورة أخرى مشوهة أو معقدة تحتاج إلى دراسة إضافية للتعرف على نوعها وأصلها . وكذلك قد يصور أن الطيات المحدبة هي الأساس في تكوين المرتفعات الطبوغرافية ، وقد يكون ذلك التصور صحيحا في بعض الحالات وخاصة في حالة بداية تكوين الطية ، ولكن تأثير عوامل التعرية المختلفة قد تقلب هذه الصورة تماما ، فالطيات المحدبة تتكون من طبقات صخرية معقدة غالبا ما تتلها الكسور كالفواصل والفوالق الصغيرة نتيجة تأثير قوة الشد التي كانت سببا في نشأة هذا الصعد ، وهذا مما يسهل بل يساعد عوامل التعرية على سرعة تفتيتها وتآكلها ، في حين أن صخور الطية المقعرة التي تنشأ أصلا تحت تأثير قوة كابسة تكون متماسكة متدحمة وبذلك تصبح أشد مقاومة لعوامل التعرية . فلا غرابة إذن أن تكون الطيات المقعرة جزءا من المرتفعات الطبوغرافية بينما تتخذ الأنهار والوديان اتجاهها في امتداد الطيات المحدبة (شكل ٦٧) .

الفوالق (الصدوع)

الفالق أو الصدع هو كسر في مجموعة من الصخور يصحبه تحرك نسبي أو انزلاق أو إزاحة أحد الكتلتين الناتجتين عن الكسر أو كليهما . وتحدث

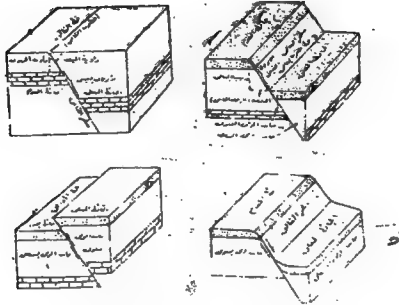
هذه الحركة النسبية موازية لسطح الكسر الذى يسمى مستوى أو سطح الفالق . Fault plane or يختلف امتداد سطح الفالق ، فبعضها يمتد إلى بضعة أمتار بينما يعمل امتداد البعض الآخر إلى بضعة أومئات الكيلومترات . كذلك يتفاوت مقدار الحركة أو الانزلاق على سطح الفالق بين بضعة سنتيمترات ومئات الأمتار . وأحيانا يكون سطح الفالق كسرواحد كبير واضح المعالم وأحيانا أخرى تحدث حركة الانزلاق على سطوح كسور عديدة متقاربة ومتداخلة فيما بينها فتكون ما يسمى نطاق الفالق Fault zone الذى يتفاوت اتساعه بين جزء من المتر ومئات الأمتار . أما التحرك النسبي للكتل المتصدعة فقد يكون فجائيا على فترة واحدة أو متكررا على فترات متلاحقة ، أو قد يكون بطيئا يستغرق أزمانا طويلة . وفيما يلى تعريف بعض المصطلحات الوصفية للقوالت :

سطح الفالق Fault surface : سطح الكسر الذى تحدث عليه حركة انزلاق الكتلتين المختلفتين (شكل ٦٨) .

ميل الفالق Fault dip : مقدار زاوية ميل سطح الفالق عن المستوى الأفقى .

مهورى الفالق Fault hade : مقدار زاوية ميل سطح الفالق عن المستوى الرأسى .

مضرب الفالق Fault strike : اتجاه الخط الناتج من تقاطع المستوى الأفقى مع سطح الفالق .



(شكل ٦٨) مجسم بين أجزاء الفالق

الانزلاق الحقيقي *True slip* : مقدار الحركة أو الانزلاق الفعلي لأحد الكتلتين المتفتقتين أو كليهما على سطح الفالق .

الحائط المعلق *Hanging wall* : الكتلة المتفتقة التي تقع مباشرة فوق سطح الفالق المائل .

حائط القدم *Foot wall* أو الحائط الأسفل : الكتلة المتفتقة التي تقع تحت سطح الفالق المائل .

رمية الفالق *Throw of fault* : المقدار الرأسى لحركة أو انزلاق أحد الكتلتين على سطح الفالق ، ويعنى آخر هو مقدار التغير الرأسى فى منسوب الكتلتين المتفتقتين على جانبي سطح الفالق ، وتقاس رمية الفالق عموديا على اتجاه امتداد الطبقات المتفتقة (شكل ٦٨ - ١) .

الدفعة أو الزحف الجانبي Heave or lateral shift : مقدار الانتقال
الانقي لأحد الكتلتين المتفلقتين ، وتقاس عموديا على اتجاه مضرب الفالق .
وتوقف الدفعة على درجة ميل الفالق فزيادة مقدارها بزيادة ميل سطح الفالق
وبالعكس تنعدم الدفعة أى الزحف الجانبي إذا كان سطح الفالق رأسيًا .

جانب المرمى السفلى Downthrow side : هو الجانب الذى ترتفع فيه
أى تبط أحد الكتلتين المتفلقتين إلى أسفل بالنسبة للكتلة الأخرى
(شكل ٦٨)

جانب المرمى العلوى Upthrow side : هو الجانب الذى ترتفع فيه أحد
الكتلتين المتفلقتين بالنسبة للأخرى .

أنواع الفوالق

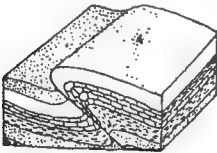
الفوالق أنواع كثيرة ، ويمكن تمييزها وتصنيفها حسب نوع القوة المسببة
لها ، ومقدار ميل الفالق ، واتجاه الحركة النسبية للكتل المتفلقة ، وهلاقة
مضرب الفالق باتجاه أو مضرب الطبقات المتفلقة ، وكذلك على طريقة تواجدها
فى الطبيعة من حيث وجودها مفردة أى فوالق بسيطة Simple faults أو
متجمعة فى ترتيب مميز ، أى فوالق مركبة Compound faults . وفيما يلى
وصف موجز مبسط لبعض أنواع الفوالق :

أولاً - الفوالق البسيطة : يمكن تمييز نوعين رئيسيين من الفوالق البسيطة
حسب اتجاه الحركة النسبية لمناطق الفالق على سطحه : النوع الأول منها
تكون فيه الحركة النسبية للكتل المتفلقة فى اتجاه ميل الفالق ، ويشمل هذا

النوع الثالث العادي Normal fault والناقل المعكوس Reverse fault . أما النوع الثاني فتكون فيه الحركة النسبية للكتل المتخلقة في اتجاه مواز لضرب الناقل ولذلك يسمى ناقل تزيج المضرب Strike slip fault .

١ — الناقل العادي : يتميز هذا الناقل بأن حائطه المعلق يقع في مستوى منخفض بالنسبة لحائطه القدي . أى أن الحائط المعلق قد انزلق ظاهرياً إلى أسفل بالنسبة لحائطه القدي في اتجاه ميل سطح الناقل . وأحياناً يسمى هذا النوع ناقل جاذبية Gravity fault حيث أن الحركة الظاهرية للكتلة المعلقة في اتجاه جاذبية الأرض . ويسمى هذا النوع أيضاً ناقل شد Tension fault لأنه قد يتبع عن قوة شد تؤدي إلى زيادة الإمتداد الجانبي للطبقات المتخلقة .

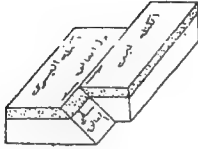
٢ — الناقل المعكوس (أحياناً يسمى ناقل دسر Thrust fault) : ويكون حائطه المعلق في مستوى أعلى من حائطه القدي بمعنى أن الحركة الظاهرية للحائط المعلق إلى أعلى بالنسبة للحائط القدي في عكس اتجاه ميل



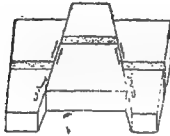
(شكل ٦٦) حجم ناقل دسر

سطح الناقل . وأحياناً يسمى هذا النوع ناقل كس Compression fault حيث أنه ينشأ عن قوة كابسه تؤدي إلى تقصير الإمتداد الجانبي للطبقات المتخلقة (شكل ٦٨ ، ٦٩) .

٣ — ناقل تزيج المضرب (وأحياناً يسمى ناقل المقص Wrench fault) : غالباً ما يكون سطح الناقل في هذا النوع في وضع يكاد يكون رأسيًا ولذلك لا يمكن



! شكل (٧٠) فائق عكس (تزيح المقرب)



(شكل ٧١) بحسب لفافق تزيح مقرب
أحدهما يميني والآخر يساري

هنا تميز حائط معلق أو حائط
قديم. وتكون الحركة النسبية
للكتل المتلفة في اتجاه أفقي
تقريباً مواز لضرب الفالق .

ويوصف فائق تزيح المضرب

بأنه يساري Sinistral or

left-handed إذا لاحظ

الناظر على طول امتداد سطح

الفالق بأن الكتلة المتلفة التي

تقع على يساره تبدو كما لو كانت

قد تحركت ظاهرياً نحوه وأن

الكتلة التي تقع على يمينه قد

تحركت بعيداً عنه ، أما إذا

كانت الحركة الظاهرية للكتلتين المتلفتين تبدو عكس ذلك فإن الفالق يوصف

بأنه يميني Dextral or right-handed (شكل ٧٠ ، ٧١) .

ثانياً — الفوالق المركبة : وهي التي تتواجد في مجموعات منها :

١ — فوالق درجية Step faults : مجموعة فوالق متوازية المضرب وغالباً

ما تكون رمياتها في اتجاه واحد فتبدو كما لو كانت درج سلم

(شكل ٧٢) .

٢ — فوالق حوضية أو فوالق خف أو أخدود Trough faults or graben :

عبارة عن كتلة فالقية Fault block يزيد طولها كثيرا من عرضها انخسفت بين كتلتين جانبيتين نتيجة حدوث فالقين عاديين يحداثها من الجانبين (شكل ٧٣) ، مثل أخدود البحر الأحمر Red sea graben الذى يكون جزءا من الأخدود الأفريقى العظيم African great graben الذى أدى إلى تكوين بحيرات شرق أفريقيا والبحر الأحمر والبحر الميت .

٣ - فوالق جسمية أو هورست Horst : عبارة عن كتلة فالقية اندفعت

أو ارتفعت إلى مستوى أعلى

من كتلتين جانبيتين نتيجة

حدوث فالقين عاديين يحداثها

من الجانبين (شكل ٧٣)

وغالبا ما تكون الأخاديد

مصحوبة بفوالق جسمية

صغيرة نسبيا متشرة على قاع

الأخدود أو على جاقية .



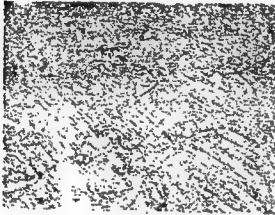
(شكل ٧٢) يمثل فوالق درجية



(شكل ٧٣) يمثل الأخدود والفوالق الجسمية أو الهورست

الفواصل

الفواصل هي مستويات كسور أو شقوق أو شروخ تتكون في الصخور المشعة دون حدوث أى حركة أو انزلاق للكتل المتفصلة على سطوح التفصل (شكل ٧٤) . وتظهر الفواصل عادة في الصخور السطحية أو القريبة من السطح أى في نطاق التكسير . ويوصف الفاصل - تماما مثل الفالق - بتحديد إتجاه مضرب سطحه ومقدار واتجاه ميله . وغالبا ما تكون سطوح

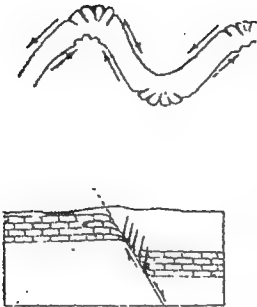


الفواصل مستوية وتتخذ وضعاً رأسياً أو مائلاً . وتتراوح الفواصل في امتدادها واتساعها من شقوق يضعف رؤيتها بالعين المجردة إلى كسور ذات إمتداد كبير واتساع واضح . كما تتراوح المسافة

بين الفواصل والآخر من (شكل ٧٤) صورة تيف طاقين شامدين من الفواصل بضعة سنتيمترات إلى بضعة أمتار . وغالبا ما تتواجد الفواصل في مجموعات مختلفة متقاطعة تتكون كل مجموعة منها من عدة فواصل من نوع واحد أى ذات مضرب وميل واحد . ويمكن تصنيف الفواصل هندسيا حسب اتجاه مضربها بالنسبة للطبقات الحاوية لها كما يلي (شكل ٧٥) :

١ - فواصل مضرب Strike joints : ذات مضرب يوازي إتجاه مضرب الطبقات المتفصلة أو إتجاه المستويات الشيتوزية (مستويات ترتيب المادن الصفاحية المميزه لصخور الشيست والنيس) .

مضادين على مستوى سطح
القائى مما يؤدي إلى تكوين
فواصل شد في الصخور
القرية من سطح أو نطاق
القائى (شكل ٧٧) . كذلك
يتولد جهد شد نتيجة
إنكماش مواد الحزم (لأنا)
أثناء عملية تبريدها وتصلدها
ومثال ذلك التركيب الأولى
الذى يسمى الفواصل



العمدانية Columnar joints (شكل ٧٦) يوضح فواصل الشد في هامة التجنبت
وقام التفرعات .
التي تظهر بوضوح في صخور
البازلت في هيئة أعمدة رأسية (شكل ٧٧) يوضح فواصل الشد نتيجة الحركة
النسية لكامل الكتلة على سطح قائى عادى .
طويلة ذات مقطع غالباً
ما يكون سداسى الشكل (شكل ٣٤) .

٢ - فواصل كس Compression joints (وأحياناً تسمى فواصل

جز (Shear joints) تتكون هذه الفواصل نتيجة فعل مباشر لقوة كابسة
أو قوة ازدواجية . وأحياناً تكون للقوة الازدواجية الفعالة غير مباشرة
كأن تقول عن فعل قوة كابسة .

ويعصب على المبتدئ التمييز بين فواصل الشد وفواصل الكس في
العمل الحقلى ، الا أن هناك بعض القرائن التى تساعد على التعرف على هذين

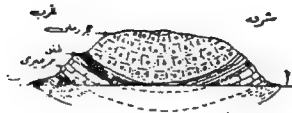
التوعين والتمييز بينها ، فمثلا تميز فواصل الشد بأنها تكون فاقرة أى مفتوحة في بداية نشأتها ولكنها قد تمتلئ فيما بعد ببعض الرواسب الثانوية اللاحقة فتفقد هذه الميزة قيمتها إلى حد ما ، ومع ذلك فوجود مثل هذه الرواسب اللاحقة في هيئة عروق رقيقة ممتدة في اتجاهات منتظمة متوازية هى في حد ذاتها قريبة على وجود فواصل شد . أما فواصل الكيس أو الخبز فلا تكون فاقرة في بداية نشأتها ولكن تأثير عوامل التعرية على مستويات هذه الكسور الضيقة قد يؤدي إلى فتحها نتيجة التفتت والتآكل المستمر لسطوح هذه الفواصل فتبدو كما لو كانت فاقرة أصلا ، هذا بالإضافة إلى احتمال امتلائها بعد ذلك برواسب ثانوية لاحقة مما يزيد في صعوبة التمييز بين النوعين . وهناك قرائن أخرى يجب الاستعانة بها في مثل الحالات للتمييز بين النوعين ولكن يضيق المجال هنا من دراستها .

النواحي الاقتصادية للبيانات الجيولوجية

لا تقتصر الدراسات الجيولوجية على النواحي العلمية البحتة بل تمتداه إلى النواحي العملية الاقتصادية في جميع المجالات المدنية والزراعية والصناعية . فدراسة التراكيب الجيولوجية هامة وأساسية بالنسبة للمهندس المدني ومهندس المناجم قبل تشييد المباني الثقيلة وإنشاء الطرق والسكك الحديدية وحفر القنوات وبناء السدود . هذا بالإضافة إلى أن جميع العمليات اللازمة للبحث عن الفحم ورواسب الخامات المعدنية الأخرى ، وكذلك البحث عن المياه الجوفية والنفط تحتاج أساساً إلى معرفة التراكيب الجيولوجية التي قد تتواجد بها هذه الموارد . وفيما يلي ، على سبيل المثال وفي إيجاز ، بعض نواحي استخدام التراكيب الجيولوجية في هذه المجالات المختلفة .

المجالات الهندسية : قيل أن بشرع المهندسون في تشييد المنشآت الفخمية
الذخيرية أو إنشاء الطرق وشق الأنفاق لابد من دراسة عملية دقيقة لنوع
الصخور وخواصها وتركيبها في منطقة العمل، إذ أن هذه الدراسة أساسية في
تقدير تكاليف المشروع. فالمعروف أن الصخور المفككة أسهل في الحفر
والإزالة وبالتالي فهي أقل تكلفة في هذه الناحية من الصخور المتصلة، ولكن
النوع الأول أقل قدرة من النوع الثاني على تحمل الجهود الناشئة من ضغط
المنشآت الثقيلة. وتوقف قدرة الصخور المتصلة على خواصها الطبيعية وكيفية
تواجدها في الطبيعة، فتلا الحجر الرملي صلد جامد وقادر ذو مقاومة تأكل
عالية بطبيعة تكوينه، إلا أن وجود مستويات الكسور كالفواصل والشقوق
يقلل من قيمه هذه في المحوس في اللازمة جص الأغراس الإنشائية. والمثال
التالي يوضح أهمية دراسة التراكيب الجيولوجية في أعمال الإنشاءات
الهندسية.

ليس من الحكمة الشروع في شق نفق مثلا قبل التأكد مسبقا من نوع
التراكيب الجيولوجية التي قد تتواجد بالمنطقة. يمثل شكل (٧٨) التركيب
الجيولوجي لمنطقة يلزم شق نفق فيها من الشرق إلى الغرب وبعد التعرف على
نوع الصخور الظاهرة بالمنطقة أمكن إقراض مسار النفق على إمتداد الخط
(أ ب) وذلك اعتمادا على أن الصخور التي سيخترقها النفق من النوع الصلد
القاسر (حجر جيري في هذا المثال) الذي لا يحتاج إلى إنشاء دعائم إضافية
(خرسانة) أو تبطين النفق بما يكفل الأمان عند استبدامه. وقدرت تكاليف
انثروخ على هذا الأساس دون النظر إلى التركيب الجيولوجي للمنطقة.
ولكن الدراسة التفصيلية الدقيقة للتركيب الجيولوجي بالمنطقة



(شكل ٧٨) يمثل امتداد تقى خلال طية مقعره

أوضحت أن خط التفق الذى سبق تحديده سوف يمتد مسافة قصيرة خلال تلك الصخور الصلدة القادرة ثم ينفق بعد ذلك صخور طبقة الطافل ، وهذا الصخر بطبيعته من النوع اللين الطيع الذى يحتاج إلى إنشاءات إضافية باهظة التكاليف لتدعيمه حتى لا ينهار أثناء وبعد الحفر . هذا بالإضافة إلى أن الحجر الرملى الذى يملأ طبقة الطافل المكونة لقبو التفق من النوع المسانى المنفذ للماء ، وذلك يؤدى طبعاً إلى أن تتشرب صخور الطافل الماء الذى قد يتجمع فى الحجر الرملى مما يوهن من عزم صخور الطافل فيزيد الأمر تعقيداً بخلق صدمات بل كوارث لم تكن فى الحسبان من حيث تكاليف المشروع وسلامة استخدام التفق .

المجالات الزراعية : أهم المشروعات الزراعية هى حفر القنوات وبناء الخزانات والسدود والبحث عن المياه الجوفية . لا شك أن مستويات الكسور كالتوالق وخاصة التواصل من التراكيب الجيولوجية التى تساعد كثيراً فى تسهيل عمليات الحفر ، ومع ذلك فهى من ناحية أخرى أكثر التراكيب الجيولوجية التى قد تسبب أضراراً بالغة وخطيرة بالسدود . فوجود مثل هذه التراكيب فيما وراء السد يؤدى إلى تسرب المياه ، وبالعالم انخفاض مقدارها عن معدل الاستغلال المقرر للسد . أما وجود مثل هذه الكسور تحت قاعدة

السد ذاته فإن تسرب المياه خلالها يؤدي إلى أحداث ضغط مائى مستمر تحت قاعدة السد فيضعفها مما يؤثر على السد ذاته فيفقد قيمته المقدره له ، بل قد يسبب تصدعه ونهياره إذا لم نحقق هذه الكسور والشقوق بما يسدها تماما لوقف تسرب المياه تحت قاعدة السد .

تعتبر المياه الجوفية *Underground water* المصدر الوحيد للماء اللازم لاستزراع الاراضى الصحراوية الجافة . والمياه الجوفية دائمة الحركة في الصخور الحاوية لها ، ويتحدد اتجاه حركتها وكذلك سرعة سريانها بالتراكيب الجيولوجية التى تمر فيها . وأحد الشروط اللازم توافرها فى الطبقات الحاملة للمياه الجوفية حتى يمكن اعتبارها مستودع ماء جوفى *Aquifer* مناسب هو تركيب جيولوجى فى هيئة طية مقعرة واسعة ضحلة *Shallow broad synclipte* تحمكه من أعلى وأسفل أو من أعلى على الأقل طبقات غير منفذة . (شكل ٧٩) .



(شكل ٧٩) قطع تخطيطى على مستودع ماء .

ويتم تكوين الحجر الرملى النوى فى مصر واحد من أهم مستودعات المياه الجوفية . والتركيب الجيولوجى لهذا التكوين الرملى وحيد ميل *Monocline* عظيم الامتداد والسك تميل فيه الطبقات الحاملة للماء تجاه الشمال (شكل ٨٠٠) . وبديهي أن التعرف على الخواص والشروط التى يجب

ثوابها لتكوين متبذعات المياه الجوفية يسهل الدراسة اللازمة لاختيار
أنسب الأماكن لحفر الآبار .

المجالات الصناعية : تهتم الدول المتقدمة بالدراسات والأبحاث الخاصة
بالتقيب والكشف Prospection عن مواردها الطبيعية من التروات المعدنية
كخطوة أولى ولكنها أساسية في تعدين Mining واستغلال هذه التروات
لأنظمة الصناعات المختلفة التي تعتبر مقياسا لحضارة الأمم ودرجة رقيها ومدى
تطورها . ودراسة العلوم الجيولوجية - ومن بينها الجيولوجيا البنائية
(التركيبية) هي حجر الأساس في الكشف عن التروات المعدنية .

البيئات الجيولوجية والتعدين : تعتبر دراسة التراكيب الجيولوجية في
مناطق التعدين أساسية لتحديد أنسب الأماكن للمداخل واتجاه الممرات
والأنفاق اللازمة لعمليات التعدين ، وغالبا ما تكون سطوح التطبق واتجاه
التواصل والكسور هي السبيل في تحديد هذه الاتجاهات . بجانب ذلك فإن
القصور في دراسة التركيب الجيولوجي لمنطقة التعدين مادة ما يؤدي إلى
استنتاجات خاطئة ، أو على الأقل ناقصة ، في تقدير التكاليف والإنتاج
ومقدار الخام الذي يمكن استغلاله .

يتكون الفحم ورواسب بعض الخامات الهامة الأخرى مثل التورفتات
والحديد (الرسوبي النشأة) تحت نفس الظروف التي تتكون فيها الصخور
الرسوبية الحارية لها . وعلى ذلك فالتركيب الجيولوجية لمثل هذه الصخور
هي أحد العوامل الهامة والمؤثرة مباشرة في توزيع وامتداد مثل هذه الخامات .

ويتوقف على ذلك مدى صحة المعلومات اللازمة لاختيار أنسب طرق الاستغلال وتقدير تكاليف الإنتاج وفيما يلي بعض الأمثلة التي توضح ذلك :

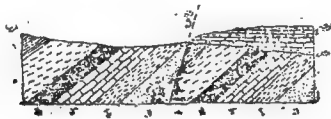
(١) يمثل شكل (٨٠) تركيا جيولوجيا يتكون من طية محدبة وأخرى مقعرة غير منباعدة ، وأحد الطبقات (رقم ٤) في هذا التركيب يحتوي على خام يمكن استغلاله . يبدأ العمل في استخراج الخام من الطرف الغربي للطية المحدبة في أول الأمر على أساس أنه لا يمكن استغلاله إلا في الجزء الشمالي المتداد . أما احتمال امتداد الطبقة الحاوية للخام في الجزء للشرق من منطقة الاستغلال فكان مشكوكا في أمره إذ أنه لا يظهر على سطح الأرض حيث تغطيها طبقات أخرى غير متوافقة مع التركيب المطوى . وعلى ذلك استبعد الجزء الشرقي من منطقة الاستغلال عند حساب مقدار الخام الذي يمكن استغلاله وبالتالي في تقدير تكاليف الإنتاج . ولكن الدراسة التفصيلية لتعاقب الطبقات وأوضاعها في وسط المنطقة أثبتت أن الطبقات تكرر نفسها في ترتيب معين ٣ - ٢ - ١ وفيها هو معين بالشكل . وبهذا أمكن استنتاج أن مثل هذا الترتيب في تعاقب الطبقات المائلة في هذا الوضع هو قرينة على وجود طية محدبة غير



(شكل ٨٠) يمثل تعاقب طبقات مطوية تحتوي على طية حاوية لخام يمكن استغلاله (طبقة رقم ٤) ظاهرة في الجزء الغربي فقط من المنطقة ولكنها في الجزء الشرقي من المنطقة متناوبة بطبقات أفقية غير متوائمة مع التعاقب المطوى .

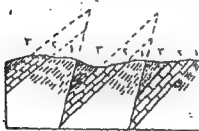
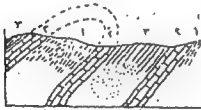
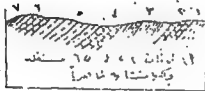
منهائله تكاد تقرب من النوع المقلوب، وأن طرفها الشرقي قد يكون جزءاً أو ابتداء لطية أخرى مقعرة في الجزء الشرقي من منطقة الاستغلال وتحجبها عن سطح الأرض الطبقات غير المتوافقة معها في هذا الجزء . وعلى هذا الأساس تم تحديد أنسب الأماكن للحفر بحثاً عن الطرف الآخر من الطية ثم تتبعها شرقاً استعداداً لاستغلال الحام بكامله في المنطقة . ويدهى أن الإنتاج الكامل للعظام يزيد بكثير عما كان مقدراً له في بداية الأمر ، كذلك فإن القيمة المدفوعة كحق استغلال المنطقة كلها كانت أقل بكثير عما يجب بسبب التقصلا في دراسة تراكيب المنطقة قبل منح نيق الاستغلال .

٢ (يمثل شكل (٨١) منطقة بها طبقات مائة تجاء الغرب وبوسطها فائق غير واضح المعالم . وفي الجانب الغربي من المنطقة تظهر على سطح الأرض طبقة (رقم ٤) حاملة الحام يمكن استغلاله . أما في الجزء الشرقي من المنطقة فظهر على سطح الأرض طبقات أخرى أفقية غير متوافقة مع الطبقات المائلة (عدم تطابق زواحي) مما أدى إلى عدم التفكير في احتمال وجود الطبقة الحاوية



(شكل ٨١) يمثل تتابع طبقات مائة أساسها فائق . الطبقة رقم ٤ تحتوي على خام يراد استغلاله . تظهر هذه الطبقة على سطح الأرض في الجزء الغربي فقط من المنطقة وتختفي في الجزء الشرقي تحت سراج عدم تطابق زواحي (س) . لاحظ ترتيب تكرار الطبقات في هذا الشكل وقدرته بالتكرار في الشكل السابق .

للغمام في الجزء الشرق من المنطقة . وعلى هذا الأساس قدرت كمية الغمام الذي يمكن استغلاله وكذلك قيمة حق الاستغلال . وبعد دراسة التعاقب الطبقي وترتيب الطبقات وأوضاعها ثبت أن تكرر ان ظهور الطبقات - كما هو مبين بالشكل (٥ - ٤ - ٣ - ٢ - ١ / ٥ - ٤ - ٣ - ٢ - ١) - يؤكد وجود ذلك التتابع الذي أدى إلى تكرار طبقة الغمام الخفية تحت سطح عدم التوافق . وبذلك زادت كمية الغمام التي يمكن استغلالها عما كان مقدرا لها في أول الأمر .



(شكل ٨٢) يمثل قطاعات تبين ثلاث احتمالات مختلفة لتوضيح التركيب الجيولوجي لظاهر ثلاث طبقات متشابهة النوع والوضع .

٣) أما شكل (٨٢) فيمثل ثلاث مظاهر ذات صفات صخرية متشابهة وتحتوي على خام يمكن استغلاله . ولكن امتدادها كما هو ظاهر على سطح الأرض لا يشر ولا يشجع على الإقدام على الاستغلال ، فقد تسمي هذه المظاهر لثلاث طبقات منفصلة أو قد تكون أجزاء من طبقة واحدة متكررة نتيجة تركيب جيولوجي . ويلمح أن كمية الغمام في الحالة الأولى سوف تكون أكبر من الحالة الثانية . ويمكن اكتشاف الحالة الحقيقية عن طريق الحفر وهذا ما يكلف الكثير ، ولكن الدراسة التفصيلية قبل تؤدي إلى استنتاج .

الاحتمالات المختلفة ثم ترجيح صحة احتمال أو آخر - في الحالة الأولى لا يوجد تكرار في التماثل الطبقي (شكل ٨٢) - أما في الحالة الثانية فهناك احتمالان : أولهما أن تتكرر الطبقات في ترتيب ١ - ٢ - ٣ - ١ - ٢ - ٣ وهذا يدل على وجود طيتين متشابهتين أحدهما محدبة والأخرى مقعرة وتعمل أطرافها في نفس الاتجاه ونفس المقدار تقريبا (شكل ٨٢ ب) . أما الاحتمال الثاني فهو تكرار الطبقات في ترتيب ١ - ٢ - ١/٣ - ٢ - ١/٣ - ٢ - ٣ (شكل ٨٢ ح) مما يدل على أن هذه المظاهر الثلاثة ما هي إلا أجزاء من طبقة واحدة أصابها طالق من النوع المعكوس يملآن في نفس الاتجاه تقريبا . والفرق واضح بين كل من الاحتمالين الأخيرين فيما يختص بتقدير كمية الخام وبالتالي حساب التكلفة والإنتاج .

مصادر البترول : من المعروف أن المواد البترولية الخام تتكون نتيجة تراكم البقايا العضوية ثم تحللها تحت ظروف مخفلة - وتجمع هذه المواد الهيدروكربونية على هيئة كريات دقيقة جدا تتسرب داخل الطبقات الرسوبية التي تتكون معاصرة لتراكم هذه البقايا العضوية ، ولذلك تسمى هذه الصخور « الصخر الأم » Mother rock أو « صخر منبع » Source rock . وغالبا ما يكون الصخر المنبع من النوع الذي يتميز بدقة جزيئاته وعظم سمك طبقاته . أما عن الطاقة اللازمة لعملية تحلل المواد العضوية التي ينشأ عنها البترول الخام فمن المحتمل أنها تنبع عن الحرارة والضغط في الأعماق البعيدة عن سطح الأرض ، وعن تأثير البكتيريا المختزلة والنشاط الحراري للمواد المشعة التي قد تتجربها الصخور المنبعا .

ومن البينهي أن المواد البترولية تتكون بكميات صغيرة في الصخر المنبع .

فكيف تتجمع إذن في مخازن بترولية ضخمة ؟ تتعرض الصخور المنبثة لضغط الرواسب التي تملؤها ، وغالباً ما تكون عظيمة السمك ، ويؤدي ذلك إلى كبس الرواسب الطينية وتدبجها فتضطر الكريات الهيدروكربونية إلى الانسحاب من المسافات البينية لمكونات الصخور المنبثة. ثم إلى الهجرة باحثاً عن مكان آخر ملائم تأوي إليه . وتسمى هذه العملية الاضطرابية الهجرة الأولية Primary migration . وتسلك المواد البترولية المهاجرة طريقها بما يتوافق وخصائصها الطبيعية . وحيث أنها أقل كثافة من المواد الصخرية التي تتخللها فإنها تسلك الطريق الذي يؤدي بها إلى طبقات أعلى من طبقات منبثها ، فتساب صاعدة حتى تجد نوعاً من الصخور المسامية المنفذة حيث تتجمع . وبمجرد تجمع المواد البترولية في الصخور المخازنة Reservoir rock تبدأ مكوناتها في الانتمال حسب كثافتها في ثلاث طبقات : طبقة من المياه تملؤها طبقة المواد البترولية يليها طبقة الغازات ، وتعرف هذه العملية بالهجرة

الثانوية Secondary migration

وقد يصادف المواد البترولية

أثناء هجرتها الأولية بعض التراكيب

الجيوولوجية المنيرة ، تسمى مصائد

البترول Petroleum traps ، والتي

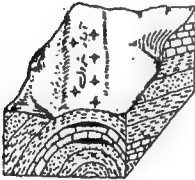
يفضل البترول الحام التجمع فيها عن

أي مكان آخر . ومن أهم المصائد

البترولية التركيبية هي التراكيب

القوية أي القبة Damal structures

الطيّات المحدبة Anticlines

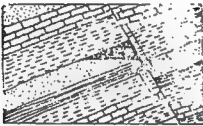


(شكل ٨٣) تتحدّد واتم آبار البترول

حسب التركيب الجيولوجي للصخور المخازنة



(شكل ٨٤) تظاع و طبة اختراقية
(تتو ملج) يتجمع البترول حولها في
الطقت الحازنة .



(شكل ٨٥) تظاع يمتل بمبيد
بترول نائية .

(شكل ٨٤، ٨٥) أحادي الميل Monoclines

أو المصبدة القالقية Fault trap

(شكل ٨٥) حيث يعمل مستوى

القالق - وغالبا ما يكون مصقولا -

كحاجز يمنع تسرب المواد

البترولية إذا ما أدى هذا القالق إلى

إيجاد صخور غير منفذة في مواجهة

صخور منفذة حاوية للبترول .

ولا يبنى وجود هذه التراكيب أنها

جما خازنة للبترول الخام ، فقد

تتواجد مثل هذه التراكيب خاوية

جدا ، إلا في حالة اعراضها

طريق الهجرة الأولية للمواد

البترولية واحوائها على طبقات من صخور مسامية منفذة تسمح بتجميع البترول

الخام فيها . ومن البديهي أن الصخور الحازنة للبترول لا بد وأن تكون مغطاة

أو محكمة الإغلاق بواسطة طبقات أخرى غير منفذة تمنع الخام من التسرب

إلى الطبقات السطحية حيث يتعرض للمؤثرات الجوية فيفقد الجزء الكبير

من مكوثاتها .

بعد هذا العرض الوصفي الموجز للنبات (التراكيب) الجيولوجية وبعض

النواحي الاقتصادية لدراستها قد يتساءل القارئ مستفسرا عن أسباب تكون

هذه النباتات وكيفية شأنها وتطلب الإجابة على هذه الاستفسارات تهم

خاصية التوازن الإستانيكى للقشرة الأرضية Isostasy وما يرتبط بها من حركات أرضية Earth movements ، وبعض النظريات المتعمدة لأسباب وميكانيكية هذه الحركات ، ويمكن إيجاز ذلك فيما يلى :

توازن القشرة الأرضية

تدل الدراسات الجيولوجية على أن القشرة الأرضية كانت دائما ولا تزال تحت تأثير النشاط الطيعى والكيفى للعوامل الجوية المختلفة مثل الرياح والأمطار والسيول والصقيع والجليد وأمواج البحار، فهذه العوامل كلها فى دأب ونشاط مستمر، ويظهر أثرها فى تفتت صخور القشرة الأرضية بواسطة العوامل الجوية (عملية التجوية Weathering) وكذلك بواسطة الكائنات الحية ، ثم نقل هذه المواد الصخرية المفتتة من مكان وجودها إلى أماكن أخرى بواسطة الرياح والأمطار والتلابات (عملية النقل Transport) ، كما أن لهذه المواد المفتتة أثناء نقلها أثر فعال فى تحت الصخور المختلفة التى قد تمر بها (عملية التحت أو التحات Erosion) مثل التحت الرياحى Wind erosion والتحت النهري River erosion والتحت البحرى Marine erosion ونحت السيول Torrent erosion . ونتيجة كل هذه العمليات مجتمعة هى تعرية أو تدمير هدمى لسطح الأرض، ولذلك تسمى التعرية Denudation .

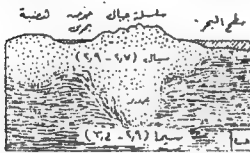
ولو أن عوامل التعرية كانت مستمرة فى عملها دون أن يقاومها ويوازنها أى عمل آخر بناء . لكأنت قد انمحت الأرض من الوجود ، ولكن الحكمة العادلة أثرت رسالها لإيجاد حالة توازن دائمة . ومن الحكمة أن عوامل الطبيعة الهدامة نفسها هى العوامل الباتدة للقشرة الأرضية ولو أن مكان نشاطها

الهدمي يختلف ويعد عن مكان نشاطها البتاني ، وبذلك أوجدت حالة التوازن اللازمة لاستقرار كوكبنا هذا بل لاستقرار الكون بأكمله ، فالعوامل التي تقوم بجاهدة بتفتيت الصخور غالباً ما تنقلها أو تساعد في نقلها إلى مكان آخر حيث ترسبها وتبني بها جزءاً آخر تضيقه إلى سطح الأرض مثل ترسيب الطبقات الصخرية في البحار وتكوين الدالات عند مصاب الأنهار والكثبان الرملية في المناطق الصحراوية ، وتعرف كل هذه العمليات مجتمعة عملية البناء أو الترسيب *Deposition* . كما أن هناك أدلة واضحة تثبت تحرك الطبقات الخارجية للأرض مما يؤدي إلى ارتفاعها لتكون الجبال وما يظهر لنا من القارات ، أو قد تؤدي إلى خفها تحت مياه المحيطات ، وفي كل من هاتين العمليتين يتحسر البحر عن جزء من سطح الأرض فتظهر أرضاً جديدة أو قد يغمرها ويطغى عليها فتظهر بحار جديدة أو تتخذ البحار القديمة أشكالاً وطبوغرافيات جديدة ، كل هذا والأرض في حالة متوازنة باستمرار .

وسيفحص الباب التالي لعمليات التحرية والترسيب .

وقد أثبتت قياسات الجاذبية بجانب دراسات تفصيلية أخرى إلى استنتاج خاصة من أهم خواص القشرة الأرضية - وهي خاصية التوازن الاستاتيكي *Isostasy* والتي تعني أن الأعمدة الصخرية ذات القطاعات العرضية المتساوية فوق مستوى معين (مستوى التعادل *Level of compensation*) ويوجد على عمق ما بين ٥٠ ، ١٠٠ كيلومتر تحت سطح البحر) تكون كتلتها واحدة مهما اختلفت أطوالها ، ويعزى إلى هذه الخاصية سبب الارتفاع الشاهق للجبال وهي التي تحوى المواد الصخرية الخفيفة الوزن وكذلك انخفاض قيعان المحيطات التي تتكون من مواد صخرية قاعدية التركيب كبيرة الوزن التومى (شكل ٨٦ - ص ١٠١) .

فإذا ما تفتتت هذه الأعمدة الجبلية العالية تحت تأثير عوامل التعرية المختلفة ، تبع ذلك خفة الحمل أو الضغط على الطبقات الصخرية التي تقع تحتها ، وفي نفس الوقت تزداد الحولة أو الضغط على المناطق الأخرى المجاورة والتي تنسب فيها المواد المقتتة من تلك الأعمدة الجبلية ، والنتيجة الحتمية إذن لعملية التعرية في مكان والعملية البتائية أو الترسيب في مكان آخر هو حدوث اختلاف في الضغط الواقع على الطبقات السفلية لسطح القشرة الأرضية. ويبدأ



(شكل ٨٦) يوضح ظاهرة التوازن الاستاتيكي

توازن هذا الضغط الاختلاقي Differential pressure على الأجزاء السفلية للقشرة الأرضية بمرئان بطيء. للمادة الصخرية اللزجة من طبقة السيل التبقلة الوزن والتي تقع تحت منطقة الترسيب إلى قاع المنطقة التي حدثت فيها التفتت (شكل ٨٦ ح) وبذلك تملأ وترتفع وتعيد التوازن من جديد . وتعرف عملية بمرئان مواد السيل من مكان ازداد فيه الحمل أو الضغط إلى مكان آخر قد خف فيه الضغط عند مستوى معين باسم استعادة التوازن الاستاتيكي

الحركات الأرضية

مرت الكرة الأرضية أثناء مراحل نموها بتغيرات مختلفة أدت إلى اختلاف وتغير في توزيع الجار والأرض اختلافًا في العصور الجيولوجية المختلفة (دراسة الجغرافيا القديمة) - ومن الأدلة التي توضح حدوث حركات أرضية عنيفة أن الصخور الرسوبية الغنية بالحفريات - وهي بقايا الحيوانات التي كانت قد عاشت تحت سطح البحر في وقت بين الأوقات - توجد في أعلى قدم الجبال في العالم مثل الطبقات الرسوبية التي تكون جبال الهمليا والتي ارتفعت من طاع البحر إلى أكثر من ثلاثين ألف قدم . ودليل آخر ، هو وجود كثير من المناجم النعم على أعماق بعيدة تحت مستوى سطح البحر ، والمعروف أن النعم يتكون من بقايا نباتية كجذوع الأشجار والأغصان لبعض الغابات التي كانت قد تحت فوق سطح الأرض على مستوى أعلى من سطح البحر .

ومن الأدلة الواضحة على حركات الأرض في الأزمنة التاريخية القرية بآيا معبد سيرايس قرب نابولي في إيطاليا حيث توجد الأعمدة منحورة بحيوانات بحرية من نوع معين (Lithothagus) على ارتفاع ١٨ قدم فوق أرض المعبد ، وتوجد بالحفر بقايا قشور هذه الحيوانات ، وهذا يدل دلالة قاطعة على أن أرض المعبد لا بد وأن كانت قد انخفضت وبعمرها البحر الذي كانت تعيش فيه هذه الحيوانات ثم ارتفعت الأرض ثانية إلى وضعها الحالي ، وكذلك وجود الشواطئ المرجانية المرفوعة Raised coral beaches فوق مستوى سطح البحر .

وهناك نوعان من الحركات الأرضية . أحدهما تسمى الحركة البانية للقارات Epirogenic movement : هي حركته بطيئة قد تدمر لازمنة جيولوجية

هديدة ، في اتجاه رأسى يؤدي إلى هبوط أو ارتفاع مساحات شاسعة من القارات يتبعه تقدم البحر Sea transgression ليطغى على الجزء الغاطب أو انحسار البحر Sea retrogression عن الجزء الذى ارتفع . نسطح اليابسة . وهذا النوع من التحركات الأرضية هو المسئول عن ترتيب وضع المحيطات والقارات في الأزمنة الجيولوجية المختلفة ، ويظهر تأثير الحركات البانية للقارات على سطح الأرض في تكوين المرتفعات والمنخفضات الشاسعة مثل الهضاب والأحواض المائية والجبال الكتلية Block mountains أو الوديان القافية المنسوفة Rift valleys .

والنوع الثاني من الحركات الأرضية هو ما يعرف بالحركات البانية للجبال Orogenic movements . وهذه حركات سريعة خاطفة قصيرة المدى (بالمعنى الجيولوجى وبالنسبة للحركات البانية للقارات) وعنفية في تأثيرها . وتتشأ مثل هذه الحركات ، بصفة عامة ، تحت تأثير قوى ضغط جانبي وتنبج عنها انثناءات مجدبة أو مقعرة في طبقات القشرة الأرضية ، وما يتبع هذه الثنيات الضاغطة من كسور وفوالق أو إنزلاق أطراف الثنيات على مستويات فاقية مما يؤدي إلى تراكم كتل الصخور الرسوبية الطبقة فوق بعضها للتشغل جزءاً بسيطاً بعد أن كانت تغطى مساحات شاسعة ، وترتفع بالتالى فوق مستوى سطح البحر لتكوين سلاسل الجبال بعد أن كانت تغطيها مياه البحار . وما من شك في أن مواد الصهير ، Magma ، تنشط وقت حدوث مثل هذه الحركات ويبدأ في الصعود لغزو مناطق الضعف الناتجة من عناية الإنثناء والنهش والتكسر ، وتعد نمج طريقاً لها يؤدي بها إلى الطبقات العليا من القشرة الأرضية حيث يبرد ويجمد في هيئة كتل أو صخور نارية متداخلة (متطفلة) أو حتى على سطح الأرض في هيئة براكين ثائرة تذف بمجمها وغاراتها .

لم تكن هذه الحركات الأرضية مستمرة طول وقت نمو الكرة الأرضية، بل كانت هناك فترات هادئة (ظاهرياً) تتميز بالبناء حيث كانت تترسب خلالها كميات ضخمة من الصخور الطبقية في الأحواض المائية، وتمثل فترات الهدوء الجزء الأكبر من التاريخ الجيولوجي للأرض، وقد قدرها بعض العلماء بما يعادل $\frac{1}{10}$ من تاريخ الأرض، أما الجزء الصغير $\frac{1}{10}$ فإنه يمثل الوقت الذي كانت تمر فيه الأرض بحركات ثورية وتطورية عصبية هي الحركات البانية للجبال. وأهم الحركات البانية للجبال التي انتابت الكرة الأرضية هي :-

(١) الحركة الكاليدونية Caledonian Movement : أثناء الحقب القديم الأسفل Lower Palaeozoic Era ، في آخر العصر السيلوري - العصر الديفوني Silurian-Devonian Systems

(٢) الحركة الهرسينية (أبالاشية) Hercynian (Appalachian) Movement : أثناء الحقب القديم الأعلى Upper Palaeozoic Era ، في وقت العصر الكبير بروفيري - البرمي Carboniferous-Permian

(٣) الحركة الألبية Alpine Movement : في آخر الحقب المتوسط (الثاني) Mesozoic (Secondary) Era وبداية الحقب الحديث (الثالث) Cenozoic (Tertiary) Era

أما عن النظريات الخاصة بكيفية تكوين الجبال والمنسرة لاسباب وميكانيكية الحركات الثورية للأرض فمديدة ومتشعبة ، ويضيق المجال هنا لدراستها ويمكن تبسيطها وإيجازها فيما يلي :-

(١) نظرية الانكماش Contraction Theory : (إيل دي بومونت
Elie de Beaumont في أوروبا ، جيمز دانا James Dana في أمريكا) وأساس
هذه النظرية هو أن الانكماش الناتج عن تبريد الكرة الأرضية سبب حدوث
قوتين : إحداها قوة شد داخلية في اتجاه مركز الكرة الأرضية والأخرى
، لبدة الأولى وهي قوة سطحية جانبية صاغطة في مكان وشادة في مكان آخر
في القشرة الأرضية . وقد أدى ذلك إلى أحداث هائلة وتجمعات في
القشرة الأرضية نتج منها تكوين أحواض البحار وسلاسل الجبال .

ووجه النقد لهذه النظرية هو أن تبريد الكرة الأرضية لم يكن مستعراً
بل كانت هناك فترات جليدية متخللة فترات دفينة طول التاريخ الجيولوجي للأرض .
وهناك وجه اعتراض آخر ، هو الشك في أن التبريد يؤدي إلى هذا الانكماش
الذي ينتج عنه تجمعات في القشرة الأرضية بدرجة تسمح بتكوين الجبال
الشاهقة ، واعتراض ثالث وهو أن التبريد في حد ذاته مردود عليه حيث أن
الحرارة الناشئة من النشاط الإشعاعي والتفاعلات الكيميائية في باطن الأرض
يهدم الاقتراض الذي بنيت عليه النظرية .

(٢) نظرية التمدد / Joly's Expansion Theory : بنيت هذه النظرية
على فكرة تمدد القشرة الأرضية نتيجة للحرارة الناشئة من النشاط الإشعاعي
والتفاعلات الكيميائية في باطن الأرض وما تبع عملية التمدد من حدوث ضغط
اختلاقي أدى إلى تكوين تجمعات في القشرة الأرضية نتج عنها تكوين
المرتفعات والمنخفضات ، وهذه النظرية عكس نظرية الانكماش ، ولم تجد
رواجاً علمياً .

٣) نظرية ترحزح القارات Continental Drift : (فيلجرز ١٩٢٩

Wegener ، دى نوات ١٩٢٧ - ١٩٣٧ Du Toit) نشأت هذه النظرية على أساس ملاحظة الشبه الكبير بين شكل الساحل الغربى للقارة الأفريقية والساحل الشرقى لأمريكا الجنوبية ، وكذلك وجه التشابه والتقارن بين الرواسب البحرية (المعصر الطباشيرى) على كل من جانبي المحيط الأطلسي (شكل ٨٧) وتفترض هذه النظرية أن كل القارات الموجودة حاليا كانت متحدة في كتلة واحدة كبيرة تسمى بانجيا Pangaea حتى بداية الحقب المتوسط (الثاني) من تاريخ الكرة الأرضية، وأنه كان يوجد وسط هذه الكتلة الموحدة بحرى قديم يسمى تيثس Tethys في موضع البحر الأبيض المتوسط ، ثم ترحزجت أجزاء من هذه الكتلة الموحدة الكبيرة وانفصلت عن بعضها في بداية الحقب المتوسط .



وتفترض النظرية أن حركة الترحزحة والإتصال كانت في اتجاهين :- أحدهما في الاتجاه الشمالى (شمال خط الاستواء) تتج عنها إنضغاط حوض التيثس وتكوين الجبال الآلية ، وثانيهما في اتجاه الغرب وتنتج عنه انقصار

الأمريكتين لتكوين جبال الشاطيء الغربى .

والنقد الموجه لهذه النظرية هو أنها اهتمت بدراسة الأرض في أواخر تاريخ حياتها وزادت بداية تطورها بدون تفسير، كما أن هناك أكثر من عقبة أو صعوبة في تفسير الزحزحة القارية في هذين الاتجاهين من أراء النظرية يتقصها تفسير لأسباب مقنع الزحزحة.

(٤) نظرية التموجات (أو التورمات) الأرضية Oscillation-Lindation

Theory (هارمان ١٩٣٠ Haarmann ، ويلبر Pailey Willies ، فان بيملين Van Bemmelen) افترض هارمان تكوين تورمات أرضية Geotumours تفصها منخفضات أرضية Geodepressions نتيجة مريان الصهير الصخري (الماجما) الموجود تحت القشرة الأرضية من مكان (تحت المنخفضات) إلى مكان آخر (تحت التورمات) وذلك لإعادة حالة التوازن الاستاتيكي في القشرة الأرضية بعد اختلال توازنها تحت تأثير عامل كوني غامض Mysterious Cosmic Factor . والمخطوطة الطبيعية الحالية هي تعرية هذه التورمات الأرضية وترسيب المواد الناتجة من التعرية في المنخفضات . وعند تحرك العامل الكوني الغامض بالنسبة لوضع الأرض فإنه يتبع ذلك تحرك التورمات الأرضية وبالتالي المنخفضات الأرضية بما فيها من مواد رسوبية ، ويؤدي ذلك إلى رفع الصخور الرسوبية التي تكونت في المنخفضات الأرضية ، وبالتالي إزالتها بواسطة الجاذبية . على السفوح المنحدرة للتورمات الأرضية الحديثة التكوين ، تتراكم هذ الصخور فوق بعضها في شكل ثنيات أرضية يصعبون بكسور وهوائت يعمق تفرده شاهدة لتكوين سلاسل الجبال .

لم تجد هذه النظرية مائلا لها حيث لا يمكن مجرد إقتران تأثير عامل كوني غامض في مثل هذه الحالات لتفن النظرية بفرضها ، وحيث أن التراكيب الإنزلاكية غير مقبولة كسبب أساسي لتكوين الجبال .

ولذلك فقد حاول ويلز وفان يديلين إيجاد تعديلات وتفسيرات لحركة
شربان الصهير الصخرية تحت القشرة الأرضية ، وما ينتج عن ذلك من تكوين
التراكيب الصخرية ، بطرق عديدة لا داعي لتفصيلها ، ويمكن القول بأن
هذه المحاولات كانت معقدة التفسير وغير محكمة لأنها بنيت على افتراضات عن
حالة ما تحت القشرة الأرضية التي لا يعرف عنها إلا القليل ، بل أن ما وصلت
إليه المعرفة عن القشرة الأرضية نفسها ما زال في حاجة إلى المزيد .

(٥) نظرية التيارات الناقلة Convection Current Theory : وقد
نشأت فكرة هذه النظرية في أوائل القرن الحالي (ألمغير ١٩٠٦ Ampferer ،
ثم تولاه غيره بالتدريج ومنهم ستيل ١٩٣٦ Stille ، كريجز ١٩٣٩ Griggs ،

هولز ١٩٢٨ Holmes ، هيس ثم

فينج مايز ١٩٣٤ Eening Meinesz) .
وأساس هذه النظرية هو افتراض
حدوث تيارات حمل حرارية تحت
القشرة الأرضية نتيجة اختلاف في
درجة الحرارة وبالتالي اختلاف في
الكثافة ، وأن حدوث هذه التيارات
يوجد حالة التوازن الاستاتيكي
للأرض ، فلتناطق العميقة تحت
القشرة الأرضية تستمد حرارتها
من باطن الأرض وكذلك من حرارة
النشاط الإشعاعي تنخفض كثافة
مكوناتها نسبياً وتضطر هذه الارتفاع



نموذج حوض الجبال



نموذج الجبال

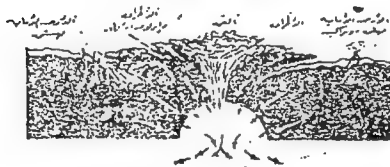


(شكل ٨٨) يوضح نظرية تيارات الحمل الناقلة

ب=بارد ، د=دافئ ، س=ساخن ، ح=حار

إلى الطبقات الأعلى تحت القشرة الأرضية - أما المناطق السطحية ، على عكس ذلك ، فتفقد حرارتها بدرجة أكبر وأسرع من الأجزاء الباطنية فتضطر لذلك إلى المبروط نتيجة لتقل وزنها عن ذي قبل ، وحيث أن سرعة التبريد في قاع المحيطات أكبر منها تحت القارات فمن الديرى أن تتكون التيارات الناقلة من تيار هابط تحت المحيطات وتيار صاعد تحت القارات في هيئة حلقات أو دوائر مقفولة (شكل ٨٨) ينتج عنها إعادة توازن درجة الحرارة .

وعلى أساس صحة وجود مثل هذه التيارات الناقلة في باطن الأرض تقدم كثير من العلماء بتفسيرات مختلفة لميكانيكية تكوين الجبال على أساس واحد هو: أنها تنساب مثل هذه التيارات الناقلة في مستوى أفقى تحت سطح الأرض ، فإنها تحدث قوى فعالة يظهر أثرها في قوة ضاغطة في مكان يتقابل فيه تياران ، وقوة شادة عند مكان اقترابهما ، فمن المتوقع أن تتكون الجبال أينما يتقابل تياران ثم ينحرفا باطنين حيث تنمو هناك قوة شفط Sucking للقشرة الأرضية إلى باطنها ، ينشأ عنها تراكم الكتل الجبلية لهذه المنطقة بعد تكسرها وتحميطها وتكوين التنيات الأرضية والتوالقي ، حسب قوة الشفط الناتجة (شكل ٨٩) .



(شكل ٨٩) يوضح طريقة تكوين الجبال نتيجة قوة الشفط الناشئة

من التيارات الناقلة (من كراوس Kraus)

وقد وجدت هذه النظرية معارضة أقل من سابقتها ، بل أنها الوحيدة
 التي تجذب مجتهدين أكثر من معترضين في وقتنا الحالى ، ومع ذلك فهناك بعض
 الملاحظات التي لا يمكن التأكد من جقيقتها ، فمثلا : لو أن كل الدلائل
 تشير إلى وجود مثل هذه التيارات الناقلة في باطن الأرض وأنهما قد تؤدي
 إلى إيجاد قوة هدامة ، إلا أنه من غير المعروف ما إذا كان أثرها كافياً لتسبب
 ونكسر وتراكم الكتل الصخرية الضخمة لتكوين مثل هذه الجبال الشامخة ،
 ومرد ذلك لصعوبة الوصول إلى معرفة ما تحت القشرة الأرضية ، بل أن القشرة
 الأرضية نفسها مازالت تحتاج إلى كثير من الدراسة .

الباب الخامس

الجيولوجيا الطبيعية أو الديناميكية

Physical or Dynamic Geology

مقدمة :

من الحقائق التي لا جدال فيها أن سطح الأرض يمر دائما بعملية تغير مستمرة . والصور أو الدلائل على هذا عديدة فمن تصور لما تحمله قطرات مياه الأمطار من أعلى إلى أسفل إلى تلك الكميات المائلة من فئات الصخور التي تقع من أعالي الجبال بالإضافة إلى ذلك السيل الذي لا ينضب من المواد التي تحملها الرياح في المناطق الصحراوية إلى جانب عدد لا يحصى من الأمثلة التي منها ما تشاهدها وتحس بها إما في حياتنا القصيرة الأجل نسبة إلى هذه الأزمنة الجيولوجية أو مما ثبت لدينا من واقع الدراسة الجيولوجية للتغيرات التي حدثت لتضاريس القشرة الأرضية وأهمها ما يعرف بنظرية تزعرج القارات .

ومن المنطقي أن نبدأ حديثنا عن عملية التغير في سطح القشرة الأرضية هذه بمناقشة ما نراه الآن وما نشاهده على الطبيعة من تحركات للكتبان الرملية والتي تتراكم بفعل الرياح وتكون المصاطب التهرية أو الدلتا نتيجة لما تحمله مياه الأنهار من مواد مائعة كالغرين والطين والزلازل بما تحدثه من هزات أرضية تؤدي إلى العكس والتخريب والبراكين بما تحمله من باطن الأرض لتخرجه خلال قوهاتها . . . الخ .

أن ما نراه الآن هو صورة من صور عديدة بعضها طويل الاجل يمتد آلاف السنين والبعض الآخر بضع دقائق ليهو ضوءه يلقى على ما حدث في

الماضى وأثر في مدم أو بناء سطح القشرة الأرضية . ولهذا فإنه يمكن تقسيم العوامل المختلفة التي تؤثر في تغيير سطح القشرة الأرضية إلى نوعين : -

١ - عوامل خارجية External Processes

ويقصد بها تأثير الغلاف الجوى والمائى على القشرة الأرضية مثل الرياح والأمطار والمياه الجارية والبحار والتلاجات . . الخ .

٢ - عوامل داخلية Internal Processes

١ - العوامل الخارجية External Processes

كما أسلفنا الذكر أن عملية تغيير سطح القشرة الأرضية تشمل في الحقيقة جزئين رئيسيين هما الهدم والبناء .

١ - الهدم Destruction

ويشمل عمليات التفتت والتكسير والتحلل بحيث يؤدي إلى تحمول المواد الصلبة المتماكة إلى مواد مفككة ومهشمة من السهل على عوامل النقل المعروفة نقلها من مكانها إلى مكان آخر وتسمى هذه العمليات 'جميعها' « الترية » Denudation أى تعرية سطح الأرض .

٢ - البناء Construction

ويشغل عمليات تجميع وترسيب المواد الناتجة من عمليات الهدم والمنقولة إلى أماكن الترسيب .

وأما إن الدهش أن نرى أن عمليات الهدم تكون في أوج نشاطها في

الأماكن المرتفعة عن سطح الأرض وعلى العكس فإن عمليات البناء تسمى دائماً إلى ملاءم الحفرات والمنخفضات والوصول بها إلى سطح الأرض ولعل هذا يبين للقارئ أن عمليات الهدم والبناء تتضافر في تسوية سطح الأرض طبيعياً .

المناخ والتعرية Climate and Denudation

حيث أن التعرية سواء كانت مباشرة أو غير مباشرة تحدث أثرها بواسطة تأثير العوامل الجوية المختلفة فإن نوع وقوة تأثير هذه العملية لا بد وأن يرتبط إلى حد كبير بالاحوال المناخية السائدة للمنطقة .

وعوامل التعرية عديدة وسوف نتعرض للحديث منها تفصيلاً ولكنه من الجدير بالذكر أن نبدأ بأهم هذه العوامل تأثيراً على صخور القشرة الأرضية ومن ثم نأتو، إلى الإشارة عن العوامل الأقل أهمية .

وأهم عوامل التعرية هي :

١ - الجاذبية Gravity

٢ - المياه Water

٣ - الجليد Ice

٤ - الرياح Wind

من هذه الاربعة عوامل لمنا نرى أن الجاذبية هي العامل الوحيد الذي لا يتبدل على الاحوال المناخية أما الثلاثة الباقية فارتباطهم بالخير. وثيق . وعلى هذا الاساس فانه يبدو منطقياً لو قمنا باختلافات في الاحوال المناخية على سطح القشرة الأرضية إلى أربعة أقسام وهي :

١- النطاق الاستوائي Equatorial Zone و يتميز بالحرارة الشديدة -
بمطالوخزيرة - نباتات وغابات كثيفة .

ب- النطاق الصحراوي Arid Zone ويقع على جانبي النطاق الاستوائي
و يتميز أيضا بالحرارة العالية مع جفاف الجو - أمطار نادرة - نباتات
وغابات قليلة أو غير موجودة .

ج) النطاق المعتدل Temperate zone

حرارة معتدلة - أمطار متوسطة - نباتات وغابات موجودة .

د) النطاق القطبي : Antarctic and Arctic zone

إلى أقصى الشمال وأقصى الجنوب من النطاق الاستوائي ويتميز بالبرودة
الشديدة - قلة وجود الليله الحارة - الجفاف - نباتات نادرة وأيضا
حيوانات قليلة . وفي كل من الانطقة السابق ذكرها تتسم عمليات التحرية
بخصائص معينة وخاصة لكل نطاق والتي تبعا لها تختلف قوة أو قدرة تأثير
العوامل المختلفة بعضها نسبة للبعض .

هذا ويجب الإشارة إلى أن هناك ما يعرف أيضا بالانصدية البحرية
Marine denudation والمقصود بها عمليات الهدم التي تحدث في قيعان البحار
والمحيطات وهي لا تعتمد كثيرا على الأحوال المناخية إلا في المناطق القطبية
والتي يزيد من تعقد وتشابك عملياتها وجود البحار الجليدية .

طبيعة عملية الانصدية البحرية Nature of Denudation

أن عملية البحرية ذات ثلاثة أوجه Threefold فاعرفه للأرجل يشمل كل

ما يؤدي إلى تحول الصخور الصلبة المتماحكة إلى صخور أقل صلابة أو فتات صخور هشة إما بالتكسير أو بالتحلل حتى يسهل نقلها .

أما الوجه الثاني فهو عملية نقل المواد التي تستطيع عوامل النقل المعروفة (الرياح — المياه) نقلها من أماكن التكسير إلى مصاطب الترسيب .

أما الوجه الثالث فهو مشترك مع الوجه الثاني في أنه يمثل عملية البرى أو التآكل التي تصاحب عملية نقل المواد المفتتة أو المكسرة إلى أن تحدث عملية الترسيب .

هذه الوجوه الثلاثة هي المعروفة جيولوجيا باسم :

— عملية التجوية Weathering proc

— عملية للنقل Transportation

— عملية البرى أو التآكل (Corrosion Abrasion)

١ — عملية التجوية . Weathering proc

تعريف وتقديم :-

وتحت هذا العنوان يمكن إدراج كل العمليات التي تؤدي بصورة أو بأخرى إلى تكسير وتفتت المواد الصلبة نارية أو رسوية أو متحولة وأعداد هذه المواد المفتتة لعملية النقل (ثانياً عمليات التآكل) بواسطة عوامل النقل المختلفة .

وعملية التجوية لها طبيعة كيميائية وأن كانت تبرز في صورها العديدة ميكانيكية المنشأ .

وكما عرفنا الصخر سابقا أنه يجمع معادن وأن المعادن هي مركبات لها صفات بلورية مميزة ومعروفة وكذلك تراكيب كيميائية ثابتة . وصورة تواجد هذه المعادن في الصخور يختلف من صخر إلى آخر تبعاً لنشأته وطريقة تكونه فهي إما صخور ومعادن في صورة بلورية كمعظم الصخور النارية والمتحولة أو في صورة حبيبات كمعظم الصخور الرسوبية وفي الأخيرة يظلب وجود مواد لاحقة والتي أدت إلى تماسك الحبيبات ببعضها البعض ومن ثم فإنه في حالة الصخور الرسوبية تعتمد قابلية الصخر أو مقاومته لعوامل التعرية على نوع مادة اللصام أما الصخور النارية والتي تبلورت معادن من الصهير فإن قوة تماسكها يرجع إلى قوة تماسك البلورات فقط بدون وجود مواد لحام وعلى هذا فهي أصلب وأكثر تماسكا أى أكثر مقاومة لعوامل التعرية إذا ما نسبت لمعظم الصخور الرسوبية .

التجوية الكيميائية Chemical weathering

حيث أن المعادن المكونة للصخر هي مركبات كيميائية غير عضوية ويعتمد تركيبها وصفاتها الطبيعية على ظروف تكوينها فالتالى لانتغير المعادن مادامت الظروف التي تكونت فيها لم تتغير . ويقال لهذه المعادن حينئذ أنها معادن ثابتة Stable minerals ولكن افترض عدم تغير الظروف على الطبيعة غير قائم على الإطلاق . فالظروف دائماً ما تتغير وعلى هذا فإن بعض المعادن تتغير لتلائم الظروف الجديدة . وعملية تغير المعادن هذه يصاحبها عادة تكسيز أو تحلل للمعادن ومن ثم تغير لمكونات الصخر سواء من بين معادنه الاصلية أو ما استحدثته من مكونات جديدة اضيفت اليه من الخارج أى أنه تحدث عليه تغير كيميائى تؤدي إلى تكوين صخور جديدة .

التأثير الكيميائي للهواء *Chemical action of the Atmosphere*

من الحقائق العملية الناتجة لدينا أن مكونات الهواء الرئيسية هي عناصر التروجين ، الأوكسجين ، ثاني أكسيد الكربون ، بخار الماء مع كيات صغيرة من حامض النتريك والأهونيا .

وعنصر التروجين خامل ولا يلعب دورا خاصا في عملية التجوية الكيميائية وعلى هذا فان تأثير هذا العنصر ممكن التناقص عنه اما ثاني أكسيد الكربون فهو موجود بنسبة حوالى ٠.٠٣٪ في المناطق المفتوحة *Open countries* وهذه النسبة متغيرة من مكان إلى آخر ولو أن هذه النسبة تبدو للقارئ أنها ضئيلة إلا أنها فعالة جداً وتلعب دوراً هاماً في عمليات التجوية الكيميائية خاصة إذا علمنا تأثير وجود هذا العنصر مذابا في الماء وبالتالي زيادة قدرة الأخير على إذابة أنواع جديدة من المركبات الصخرية . وهذا ماستعرض له بالتفصيل عند الحديث عن تأثير المياه على الصخور والمعادن .

أما معظم عمليات التجوية الكيميائية فتعتمد اعتماداً كلياً على الأكسدة ولو أنه يجدر الإشارة إلى أن الأكسدة ترتبط بـل ويزيد من قوة تأثيرها وجود الرطوبة ممثلة في وجود بخار الماء بالإضافة إلى وجود ثاني أكسيد الكربون فمعظم عمليات التأكسد لاتهم في الجسر الحاف . ولعل من الأمثلة الشائعة والمعروفة لدينا جميعا صدأ الحديد والذي يدل على أهمية تضافر بخار الماء في عملية الأكسدة . والهواء يحتوى على نسبة كبيرة من بخار الماء ولكنها نسبة متغيرة تبعاً للظروف المناخية والحقائق العملية أثبتت أن هناك عملية انتقال مستمرة ودائمة وعكسية بين صورة الماء الموجود في الغلاف المائى وصورته في الغلاف الجوى ومن ثم فانه يمكن تصور ان الماء الأرضى كان في وقت

من الأوقات في صورته البخارية في الهواء وعلى هذا فإنه من الصعب بل ومن المستحيل تصور فصل تأثير المكونات الغازية للغلاف الجوى عن تأثير الماء ، في صورته العادية على الصخور بصفة عامة ، خاصة وأن بعض هذه المكونات تكون في أنشط صورها عند تواجدها وذابة في الماء .

ومن أشهر الأمثلة على التأكد الطبعي هو تحلل معدني البيريت (ح كب) وهو موجود بكثرة في الصخور ويمجرى التفاعل حسب المعادلة الآتية : —



وكبريتات الحديدوز الناتجة سهلة الذوبان في الماء وسريعة التحول إلى مواد أخرى أما الكبريت فإنه يتأكسد سريعاً وفي وجود الماء وتحول إلى حامض الكبريتيك والذي سرعان ما يتفاعل مع عناصر الألومينا والكربونات مكوناً الكبريتات والتي تذوب بسرعة في الماء مما يساعد على تحلل الصخور. عملية تحلل معدني البيريت هامة جداً في تحويل الصخور إلى تربة .

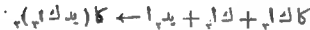
ونقيض الأكسدة كيميائياً هو الاختزال وعملية الاختزال ليست فعالة كما هو الحال في التأكسد حيث أن المواد المؤكسدة هي الأكسجين ومنتشاراً على القشرة الأرضية وأهم عوامل الاختزال في القشرة الأرضية هي بدون شك المواد العضوية ومن الجدير بالذكر أن طبقات أكاسيد الحديد الحمراء المنتشرة بين الصخور الرسوبية والتي تكون نتيجة لعمليات الأكسدة تحتوي أحياناً على بقع خضراء أو بياضاء والتي فسرها الجيولوجيون على أنها اختزال محلي Local reduction لمركبات الحديد والتي ربما نتجت من تأثير تحلل المواد العضوية الموجودة في الطبقات أصلاً .

التأثير الكيميائي للماء Chemical action of water

وتأثير الماء كعامل من أهم عوامل التجوية متعدد النواحي . فالى جانب أهميته كنشط لتأثير المكونات الغازية الموجودة بالهواء . عد أن له عديد من الخصائص الأخرى والتي تجعله في المقام الأول بالنسبة لآثر عوامل التجوية الأخرى على تغيير سطح القشرة الأرضية .

فبالنظر إلى عملية إذابة المعادن مثلا . نجد أن معظم المعادن المكونة للصخور لا تذوب في الماء (الب) . . هذا استثناء بعض الرواسب الملحية الجبس والانهيدريت حتى أن كربونات الكالسيوم والتي تكون معظم الصخور الجيرية في القشرة الأرضية لا تذوب إلا بوجود ثاني أكسيد الكربون مذابا في الماء .

حسب المعادلة الآتية :



وبذلك تتحول كربونات الكالسيوم الغير قابلة للذوبان في الماء إلى يكربونات الكالسيوم القابلة للذوبان بسرعة . ولعل هذا يفسر سرعة تآكل أحجار المباني الجيرية في المناطق ذات الأمطار الوفيرة .

الساكن . على سبيل المثال لا تقتصر إلا بالماء القلوى وحتى إذا كان الماء قلويا فالسليكا لا تذوب فيه كاملا إلا إذا كانت على حالتها الغروية Colloidal state ولكن تأثير الماء بصفة عامة يعتبر ضاعلا جداً عندما يكون حامضيا نتيجة لإذابة ثاني أكسيد الكربون أو حامض الكبريتيك والذي نتج من تأكسد معادن الكبريتيدات مثل البيريت والماركازيت كما سبق

الاشارة ومن الأمثلة المعروفة لدينا والمهمة جدا خطورة مياه المناجم بصفة خاصة على المزروعات وذلك إنما يرجع إلى طبيعة هذه المياه الحامضية ومن ثم خطورتها على المزروعات .

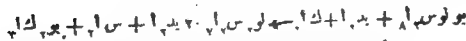
ووجود الأحماض المضوية في الماء نتيجة لتحلل المواد النباتية كالفحم يساعد أيضا في عملية التحلل وإذابة المعادن .

ومن الظواهر الطبيعية والتي تدل على تأثير المياه المذاب بها ثاني أكسيد الكربون وعملية قدرتها الفاعلة على إذابة الصخور الجيرية الواسعة الانتشار — ظواهر تكوين السلاكتيت والسلاجيت وتكوين عمرات الأنهار الجوفية .
Under ground rivers والكهوف الضخمة Gigantic caves .

ومن المجدور بالذكر أنه مما يساعد على تأثير وقدرته إذابة هذه المياه وجود الشقوق والتواصل الموجودة أصلا بالصخور المختلفة .

وانحدار الماء مع بعض المعادن يكون ما يعرف بالمعادن المائية وهذه العملية تصنف بالتميؤ Hydratzen فمعادن السيليكات أو الأكاسيد تتحول إلى سيليكات وأكاسيد مائية بهذه الطريقة .

وأقرب الأمثلة على عملية التميؤ هو تحول معدن الأورثوكلاز (سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم) إلى معدن الكاولين أو الطين الصيني ومعدن الكوارتز الذي يجاود على هيئة غروية وذلك حسب المعادلة التالية :-



أورثوكلاز

كاولين

رأى أهمية هذا التفاعل تنحصر في وفرة معدن الأورثوكلاز في معظم الصخور النارية وعلى رأسها صخر الجرانيت حيث يكون حوالي ٣٥٪ من نسبة المعادن الموجودة به .

لما أن تحول معدن الأنهدريت (كبريتات الكالسيوم) إلى معدن الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية) مثال آخر على عملية التميؤ .

ثبات المعادن والتجوية Mineral stability and weathering

تتأثر المعادن المختلفة بعمليات التجوية بدرجات متفاوتة فبعضها سهل التغير ويقال له معدن غير ثابت وبعضها يقاوم عوامل التجوية بشدة ويعرف بأنه معدن ثابت. والمخول في تفاصيل تحليل المعادن في الطبيعة هو خارج نطاق دراستنا في هذا الكتاب إلا أنه من الجدير بالذكر أن نشر في صورة موجزة عن أهم العمليات التي تؤثر في بعض المعادن المكونة للصخور .

استجابة المعدن الواحد لظروف التجوية قد يختلف باختلاف وطريقة تواجده كما أن نواتج تجوية معدن واحد يختلف باختلاف الظروف التي تحيط به . وهناك بعض المعادن تتحلل على مراحل لتعطي في كل مرحلة نواتج مختلفة .

ومن أهم المعادن التي تقاوم التجوية وتعرف بأنها معادن ثابتة هو معدن الكوارتز يليه معادن الماسكوفيت والملاجيتيت والمارفريت وعلى هذا فإن تواجد هذه المعادن يكون في صورة رواسب متبقية Residues ولو أن الماسكوفيت مادة ما يتكسر في اتجاهات انحنائية ويحصل مع الفتات الصخرية المنقولة

تحلل معادن الفلصيبارات هو في المقام الأول بالنسبة لتحلل المعادن حيث

أن مجموعة الفلسبارات هي أهم المعادن المكونة للصخور من حيث أنها أكثر انتشاراً بصفة عامة . وتحلل معادن الفلسبارات ليس بسيطاً لأن نواتج التحلل لا تكون دائماً واحدة بل مختلفة تبعاً للظروف . فمعادن الفلسبارات هي مركبات الألومنيو سليكات لعناصر البوتاسيوم والصدوديوم والكالسيوم وفي العادة خليط من هذه العناصر ومن ثم فهي أملاح لقاعدة قوية وحامض ضعيف وعلى ذلك فهي سهلة التحلل المائي hydrolysis وعادة ما تكون نواتج تحللهم مواد الكاولين وهي أنقى صور معادن الطين Clay minerals وأما الكالسيوم الداخل في تركيب الـ بلاجيو كلاز القاعدي والمسمى بالفلسبارات الكالسية فيدخل في تكوين كربونات الكالسيوم ولعله من المتقد أن كل تكاوين كربونات الكالسيوم (الصخور الجيرية) الموجودة في الصخور الرسوبية يعزى أصلاً لتحلل معادن الفلسبارات الكالسية الموجودة بالصخور النارية . أما المعادن الغير سليكاتية مثل معدن البيريت (ح ك ب) فهو مع الماء والأوكسجين يغطي أكاسيد الحديد وحامض الكبريتيك كما ذكرنا سابقاً .

ترتيب المعادن تبعاً لدرجة ثباتها لعوامل التجوية

أوليفين	بلاجيو كلاز كالي
ميروكين	بلاجيو كلاز كالي - صودي
امفيولات	بلاجيو كلاز صودي - كالي
بيوتيت	بلاجيو كلاز صودي
فلبار بوتاسي	
مايكوفيت	
كوارتز	
أقل ثبات	أكثر ثبات

وانجازا لعمليات تحلل (تجوية) المعادن المختلفة نجد أن أهم النواتج من معادن الطفل ، الكلوريت ، أكاسيد الحديد والكربونات .

التأثير الميكانيكي للماء والجليد :- Mechanical action of water and Ice

ويتجسر الأثر الميكانيكي للماء والجليد في عملية نقل الرواسب الأقليمي والتآكل والبري أثناء النقل . ولكنه بالإضافة إلى هذا فإن هناك خاصية طبيعية للماء لها أثر فعال في عمليات التكسير والتفتت للصخور بصفة عامة ألا وهي خاصية تجمد المياه . فالأما عند تجمده يتمدد بنسبة حوالى ١٠ ٪ من حجمه الأصلي وهذا التمدد يؤدي إلى أحداث ضغط كبير . ومن ثم فلو تجمد ماء متواجد في فوهات أو فجوات أو شقوق موجودة في صخر ما فإن التمدد الحجمي الناتج عن عملية التجمد يحدث ضغطا على الصخر نفسه مما يؤدي إلى تكسره وتفتته وفي الحقيقة أن هذه الظاهرة هامة جدا خاصة في المناطق الباردة وعلى الأماكن المرتفعة مثل قمم الجبال ولعل من المؤكد أن أحكام فئات الصخور (الركام الصخري) التي نلاحظها دائما تحت سفح الجبال ما هي إلا نواتج لتجمد المياه على قمم هذه الجبال والتي مالبثت أن أدت إلى تفتت الصخور وانزلقت بفعل الجاذبية من أعلى إلى أسفل .

والجد (Forst) عامل مؤثر جدا في تفكك تجمعات الصخور السطحية وبهذا يسهل نقلهم إلى أماكن أخرى .

وتربة المناطق الباردة تتميز عموما بشكل خاص وهو الشكل الأسفنجي والذي يغطيها أكثر من غيرها من أنواع التربة الأخرى تعرضا لعوامل التجوية وخصوصا تأثير المياه الجارية . والشكل الأسفنجي لتربة المناطق الباردة إنما

يكون نتيجة لأنصار الجليد المتخلل بين حبيبات التربة تاركا الفراغات التي قد نشأت من تجمع المياه بين حبيبات التربة .

تأثير النباتات والحيوانات Biologicae action

بالإضافة إلى العوامل الفيزيائية لعوامل التجوية والتي ذكرناها فيما سبق نجد أن كمية هائلة من تكسر الصخور يرجع إلى النشاط الحيوي للحيوانات والنباتات وبصفة خاصة الأخيرة . فان جذوع النباتات لها القدرة على أفراز عصارة حامضية تستطيع أن تحلل معادن التربة والصخور وذلك لمسافات عميقة . كما أن لهذه الجذوع طاقة ميكانيكية هائلة في توسيع الشقوق الموجودة في التربة أو الصخور ومن ثم تساعد حركة المياه الجوفية والهواء في تحلل التربة .

وعلى النقيض من هذا فان النباتات الكثيفة تحمي التربة التي تنمو فيها من الازالة وعلى هذا فاننا نجد دائما في مناطق الغابات أن سطح الأرض مغطى بمواد من فقا - الصخور والتي تكون نتيجة للتجوية في نفس مكانها ولم تنقل إلى مكان آخر . وهناك بعض الأنواع من النباتات الصغيرة في الحجم والتي تنمو فوق سطح الصخور تجعل سطح الأخيرة رطب دائما مما يساعد عمليات التجوية على زيادة فاعليتها . كما أن هذه النباتات تكون لها عصارة حامضية ذات تأثير قوي .

التجوية والطقس والتأثير Weathering and altitude

من البين أن تجوية الصخور من مكان إلى آخر على سطح القشرة الأرضية فليمة عمليات التجوية وكذا سبب تأثيرها على الصخور المختلفة

يعتمد اعتمادا كلياً على الظروف المناخية . ومن ثم فإنه يجب دراسة تأثير وفعالية عمليات التجوية المختلفة في كل منطقة مناخية على حدة .
والمناطق المناخية مقسمة إلى أربع كما ذكرنا من قبل :-

- ١ - المناطق الاستوائية Tropical regions
- ٢ - المناطق الصحراوية Desert regions
- ٣ - المناطق المعتدلة Temperate regions
- ٤ - المناطق القطبية Arctic and antarctic regions

ومن الجدير بالذكر أن التجوية تعتمد على خط العرض أساساً ومن الطبيعي أيضاً أن تختلف من مكان إلى آخر على نفس خط العرض ومثال هذا نجد أن الأماكن الوسطى من القارات تختلف عن الأماكن الشاطئية من حيث طبيعة المناخ وكذلك فإن في آسيا الوسطى والتي نجد فيها إنعدام المناطق المعتدلة بمعناها الحقيقي بل مناطق صحراوية تنتقل إلى قطبية أو جليدية مباشرة .

١ - التجوية في المناطق الاستوائية :-

تتميز هذه المناطق بصفة عامة بوجود الغابات الكثيفة والحرارة الشديدة والأمطار الغزيرة وبالتالي فإن التجوية الكيميائية نشطة جداً ووجود النباتات الكثيفة يقلل أو يضيف من تأثير عملية النقل ولهذا نجد أن الصخور تتحلل لمسافات بعيدة ولاعماق كبيرة قد تصل في بعض الأحيان ١٠٠ قدم أو أكثر تحت سطح الأرض .

وأمم نواتج التجوية الكيميائية هي تكوين التربة المسماة باللاتريت

(Larierite) والكاولينيت (Kaolinite) والبوكسيت (Bauxite) .
واللاتريت مميزة للمناطق الاستوائية عموماً حيث الأمطار الغزيرة وهى عبارة
عن خليط من أكاسيد الحديد والألومنيوم المائية ذات اللون الأحمر
أو البنى .

وتتم عملية تحلل معادن السيليكات فى هذه المناطق بسرعة تفوق كثيراً
تحللها فى المناطق الباردة والسيلكا الناتجة من التحلل تكون مادة فى صورتها
الغروية مما يسهل على المياه القلوية إذابتها ونقلها على هيئة محلول .

ونجد أن معدل تفكك *desintegration rate* الصخور الرسوبية الميكانيكية
النشأة سريع جداً فى هذه المناطق حيث تزال المواد اللاصقة بفعل الأمطار
الغزيرة من صخور الحجر الرملى والكربونيلومات ومعظم الصخور الصنفاحية
(مثل الشست ، الأردواز، الطفل) فتتحول الأولى إلى حبيبات خشنة وحصى
ورمل أما الأخيرة فتتحول إلى مواد دقيقة مثل الطين .

ومن الطبيعى أن تحدث فى هذه المناطق ما يعرف بالانهيارات الصخرية
والأرضية وتنشأ عادة هذه الانهيارات من إذابة صخور الحجر الجيري فى المياه
المحملة بثنائى أكسيد الكربون أكثر من غيره من الصخور .

ومن الملاحظات الجديرة بالذكر والتي تستد جدلاً بين الجيولوجيين إلى
وقتنا الحالى ما يشاهد فى بعض عجائر المناطق الاستوائية من وجود طبقات
رقيقة جداً متحللة فى سمك نصل السكين تتبادل مع أخرى غير متحللة . ولقد
كان ومازال الاحتمال الموجود لتفسير هذه الظاهرة هو تأثير بعض أنواع
البكتريا على تحلل الصخور وما لاشك فيه أن درجة الحرارة العالية للمياه

الجوفية في هذه المناطق والتي قد تصل إلى ٨٠م تكون وسطا مناسباً لنشاط البكتريا (الصخرية) .

التجوية في المناطق الصحراوية :-

وفي هذه المناطق حيث الجبر الجاف ومن ثم ندرة وجود النباتات فإن عمليات التجوية في هذه المناطق تأخذ طابعاً غريباً بمض الشيء والذي يميزها عن غيرها من المناطق الأخرى .

والصحارى الحقيقية موجودة على هيئة حزامين (نطاقين) مستمرين حول الحزام الإستوائي وفي أغلب الأحيان فإن درجة الحرارة بهذه المناطق تكون عالية جداً بالنهار أما الليل فيتم بمض البرودة وعلى هذا فإن معدل التغير الحرارى بين الليل والنهار في هذه المناطق كبير ومن ثم فإن الأثر الناتج عن الانكسار والتمدد يلعب دوراً رئيسياً في هذه المناطق . ولعلنا نستطيع من هذا تصور ان الرمال الموجودة والمنيزة للصحارى بمسنة عامة ما هي إلا خليط من فئات معادن ناتجة من التشم الصخرى بهذه الطريقة بدون أى تغيير كيميائى المعادن فاتها .

ومن المعروف أن الأمطار في هذه المناطق تكاد تكون متعذرة إلا أن هناك بعض العواصف الشديدة الممطرة أحياناً ولكنها وقية ولهذا فانه طالبا ما تكون هناك كمية من المياه الجوفية في الصحراء وحيث أن طبيعة الهواء دائماً حار وجاف فإن الخاصية الشعرية تلعب دوراً هاماً في جذب المياه من أسفل إلى أعلى حاملة معها ما تمكنت من إذابته من أملاح للصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم حتى تعمل إلى السطح أو بالقرب منه حيث تتبخر بسرعة تاركة وراءها أملاح العناصر المشار إليها مركزة في المناطق المتبسطة

أو المتخففات الضخمة حيث لا يستطيع المطر إزاحتها من أماكنها فتتراكم على هيئة رواسب ملحية والتي يؤدي تبلورها إلى تفكك صخور سطح الأرض .

ويصبح عادة رمل الصحراء بلون المواد الذائبة والمحمولة بالمياه الجوفية مثل الأحمر أو البني نتيجة لأملاح الحديد وغيرها ...

ومن الجدير بالذكر أن تشير إلى ظاهرة وجود القشرة السوداء أو البني الداكن اللامعة والمميزة لسطح صخور المناطق الصحراوية والتي تعرف باسم (ورنيش الصحراء Vernis du desert) وتتكون أساساً من أكاسيد الحديد والمنجيز التي ترسبت بعد تبخير المياه المساعدة بالخاصة الشعرية والحاملة لأملاح هذين العنصرين .

التجوية في المناطق المعتدلة :-

في الحقيقة يمكن التعبير عن التجوية في المناطق المعتدلة على أنها تضافر كل العمليات الموجودة في المناطق الأخرى ولكن تأثير أيها على حده لا يصل إلى حد وقوة تأثيره في منطقته المميزة به . وبالإضافة إلى هذا فلو أخذنا في الاعتبار التغيرات المعروفة في فصول السنة المختلفة نجد أنه في فصل الشتاء مثلاً يلعب الصقيع دوراً هاماً أما في الصيف فالياء الجارية تلعب الدور الرئيسي ومن ثم فإن التجوية الجافة أي بواسطة الرياح هي أهم العمليات في التصبيل السطحية المعتمدة بالجفاف .

وحقاً بالنسبة للأمطار في حد ذاتها فإنها تختلف اختلافاً بيناً من منطقة إلى أخرى فمعدل سقوط الأمطار مثلاً في الاسكندرية يختلف عنه في القاهرة

أو في الصخيد ... وهكذا بالإضافة إلى أن إرتفاع الناطق أو انخفاضها عن سطح الأرض . يؤثر بشكل كبير على نوعية عمليات التجوية .

وبصفة عامة فإنه في الصيف تسود التجوية بالذوبان والتحلل الكيميائي أما في الشتاء فتتطلب عمليات التجوية الميكانيكية وخاصة جأثير تجمد المياه والتي تؤدي إلى التفكك والتكسير .

التجوية في المناطق القطبية :-

من الديهي أنه إذا أصبحت درجة الحرارة منخفضة جداً فإن التأثير الكيميائي يصبح أقل فاعليه وأتراً وكذلك فإن العوامل العضوية تصبح منعدمة تقريبا وعلى هذا فإن أهم عامل في هذه المناطق هو عملية تمدد المياه عند تجمدها ومنى ما تحدثه من آثار على تفتيت وتكسير الصخور المختلفة والذي يؤدي إلى تكون الحبيبات حادة الزوايا والتي تتراكم على سفوح جبال المناطق الشمالية خاصة .

ومن الجدير بالذكر أن تحال المعادن يصبح ضئيلا جداً في هذه المناطق .

نواجع التجوية :-

ونواجع التجوية عديدة ومختلفة تبعا للعامل المؤثر الذي تأثرت به الصخور دون غيره من العوامل . إلا أنه يجب الأخذ في الاعتبار أن عوامل التجوية تتضافر مع بعضها بل وتسير معا في نفس الوقت أي أنها ليست منفصلة . ولكن هناك بعض نواجع التجوية والتي نشاهد مظاهرها على سطح القشرة الأرضية فنستطيع أن نستدل منها على أى العوامل كان سالفا دون غيره أثناء تكون هذه الظواهر الجيولوجية .

ومن الظواهر الجيولوجية المعروف أنها من نواتج التجوية ما يلي :-

١ - التقشير Exfoliation

ويحدث عادة للصخور النارية وبصفة خاصة صخور الجرانيت وهو عبارة عن صفة سطحية للصخور تنتج من تأثيرها بحرارة الشمس فيتمدد سطحها ثم ما يلبث أن ينكمش نتيجة لبرودة الليل ومن ثم فإن تكرار هذه العملية تؤدي إلى حدوث قشور على سطح هذه الصخور والتي سهل انفصالها بمرور الوقت لتتكون قشرة أخرى وهكذا مما يعطى لسطح الصخور صفة الاستدارة نتيجة لهذا التقشير .

٢ - ركام السفوح Scree or talus

وهو عبارة عن فئات الصخور المختلفة والتي تتراكم على هيئة أكوام ضخمة توجد على سفوح الجبال وكذلك المنحدرات الشديدة وهي نتيجة للتجوية الطبيعية كتأثير التغيرات الحرارية وتجمد المياه . الخ وينتقل هذا النواتج الصخرية من المستويات العليا إلى المنخفضة مادة بفعل الجاذبية أو الأمطار والسيول .

٣ - حقول الجلاميد Boulder fields

وهي عبارة عن مساحات شاسعة من الأرض مغطاه بجلاميد (حصى كبير) مستديرة الشكل ويرجع أصل تكوين هذه الجلاميد إلى التجوية الكيميائية والتي تذيب بعض مكونات الصخور دون غيرها تاركة وراءها المواد الصلبة الغير قابلة للذوبان والشديدة المقاومة لعمليات التجوية الكيميائية . ومن أمثلة هذه الحقول بمصر تلك الوديان الموجودة على طريق الواحات بالمصحراء

النرية والمعروفة بين أهالي تلك المناطق باسم (وديان البطيخ) لا بها من جلايد مكدة والتي كانت موجودة أصلا في صخور العبر الجيرى .

٤ — الوشاح أو الرواسب الصخرية وتكوين التربة :

Terrestrial deposits and soil formation

والوشاح الصخري هو تلك الطبقة السطحية المكونة من المواد الصخرية المفككة والتي تكونت نتيجة لعوامل التجوية المختلفة طبيعية كانت أو كيميائية .
ويغطي هذا الوشاح الاسامي للصخري Bed rock ويتركب من طبقتين :
العليا وتميز بوجود النباتات والمواد العضوية المتحللة وتعرف باسم التربة .
والسفل وتكون أساسا من مواد صخرية مفككة فقط وتعرف باسم
تحت التربة Subsoil .

واقدر تمكن المشتغلون بدراسة الوشاح الصخري وخاصة التربة إلى تقسيمه
إلى الأنواع الآتية :-

١ - وشاح صخري (رسويات) موضعية أو متبقية Residual deposits

وتشمل نوعان حديث } مثل رواسب الحمى والرمل والطين
وروااسب اللازيرت والبوكيت .
قديم } مثل رواسب الفحم وبعض رواسب المستنقعات

٢ - وشاح صخري (رسويات) منقولة Transported deposits

وتشمل أربعة أنواع : غير متجانسة = مثل رواسب التالوث
والفتات الصخري Talus & rock debris .

طينية = رواسب الطين الحديث التكوين وبعض رواسب المستنقعات .
صحراوية = رمال صحراوية أساسا ورواسب النالوس .
جليدية = رواسب التلاجات .

والفرق بين الوشاح الصخري المتبقى أو الموضعي والوشاح الصخري المنقول هو وجود علاقة معدنية وكيميائية بين الصخر الأصلي والوشاح في حالة النوع الأول وانعدام هذه العلاقة في الوشاح الصخري المنقول . ومن المجدبر بالذكر ان الطبقة السطحية من الوشاح الصخري والمعروفة باسم التربة هو ما يهتم الميولوجيين والزراعيين والمهندسين وسلك هذه التربة لا يزيد عادة عن عدة أقدام وتتكون من خليط من المواد المعدنية المفككة المختلفة أو المعجانة التركيب والتي تنتج من التجوية الطبيعية والكيميائية بالإضافة إلى وجود النباتات وما يصاحبها من مواد عضوية متحللة تسمى الدبال (Humus) هذا إلى جانب ما تحتويه التربة من حشرات وحيوانات صغيرة وبكتريا .

تكوين التربة Soil formation

تتكون التربة أساساً من الفتات الصخري الذي تنتج من تأثير عوامل التجوية المختلفة على صخور القشرة الأرضية الصلبة ولا تلبث هذه الفتات الصخرية أن تحتوى أنواع مختلفة من البكتريا والنباتات الدنيئة الأخرى كالطحالب وتخلل بها بقايا الكائنات الحية وبالتالي تنمو الحشائش والشجيرات . وتساعد امتداد جذور النباتات في الأرض على مزيد من التفكك الصخري كما تبدأ بعض الحيوانات الحفارة كالديدان الأرضية في الحفر وترعى مواد جديدة تحت سطحية للسطح وبهذا تصبح التربة مسامية وذات نسيج اسفنجي واضح يساعدها على تخلل المياه والهواء مما يهيئ لها أنسب الظروف لنشأة تربة جيدة .

العوامل المتسببة في تكوين التربة . -

تعدد العوامل التي تؤثر على تكون التربة وطبيعتها نذكر منها ما يلي :

١ - طبيعة الصخر الأصلي Parent rock

٢ - الضاريس Relief

٣ - عمر التربة Age of soil

٤ - الظروف المناخية Climate

١ - طبيعة الصخر الأصلي : -

يعتقد نوع وطبيعة التربة على نوع وطبيعة الصخر الأصلي . والمعروف باسم المصدر الأصلي للتربة . ويقصد بنوع طبيعة الصخر الأصلي تركيبة المعدني والكيميائي وكذلك خواصه الطبيعية كالمسامية الصخرية وسهولة الانفاذ Permeability وبعد من مستوى المياه الجوفية "Underground water"

ومثال ذلك فإن التربة التي تتكون من الرمال فقط أو الأحجار الرملية لا تكون جيدة لأنها تكون ذات مسامية عالية ومنفذ المياه وبالتالي لا تحتفظ بالمياه فيها بل تتخللها إلى الأعماق . هذا بالإضافة إلى أن المياه المصنعة تذيب معظم أملاح الحديد والتي تتواجد غالباً في الصخور الرملية لترسبها على عمق غير بعيد من التربة وبهذا تكون حاجزاً يعوق الحركة الحرة للمياه الجوفية ومن ثم تكون هذه التربة جافة جداً في فصول الجفاف وشديدة الرطوبة في الفصول الممطرة

وأبداً التربة الطينية فقط هي تربة غير جيدة وذلك لأنها على عكس التربة الرملية تكون غير منفذة للمياه وتحتفظ بها عندما تكون الأرض مسطحة

أى ليس بها إرتفاعات وانخفاضات فتتراكم المياه فيها على هيئة برك ومستقعات
وتعالج هذه التربة عادة بإضافة الجير والذي يعمل على تماسك حبيبات الطين
الدقيقة فيجعلها مشابهة لحبيبات الرمال مما يعطى لها صفة النفاذية إلى حد ما
وتسمى التربة المارلية .

وأجود أنواع التربة الزراعية هي التي تكون خليطا من الطين والرمال
والتي تسمى بالتربة الدلقانية .

وتحمل الصخور النارية كالجرانيت والبازلت عادة يعطى تربة جيدة وذلك
لأنها تتكون أساسا من معادن الطفل والتايجو من تحلل معادن الفلسبارات
المكونة لهذه الصخور النارية .

٢ — التضاريس Relief

والتضاريس تؤثر على التربة من ناحيتين رئيسيتين . فمن الناحية الأولى
لا بد أن تكون السهول المقامة عليها التربة متبسطة إلى حد ما أو مائلة قليلا
فإذا كانت الأرض شديدة الإحدار في بعض الأماكن فإن ما عليها من نباتات
يصحى ينزلق ويتراكم في الأماكن المنخفضة تحت تأثير الجاذبية . والأراضي
المتبسطة دائما تكون رديئة الصرف والمائي وبالتالي فلن تسبب أنواع التضاريس
هي تلك الأراضي المستوية المائلة قليلا والتي لا يتعدى درجة ميلها عن خمس
درجات أو عشر درجات على الأكثر .

٣ — عمر التربة Age of soil :

أنصح من واقع الدراسات المختلفة على التربة أنه كلما زاد عمر التربة كلما
كان تركيبها المعدني متشابهة وبالتالي فأنها تكون رديئة وذلك واضح من أن

المعادن تتحلل ببطء . وأكثر المعادن ثباتا هو معدن الكوارتز وكلما زاد عمر التربة كلما كان تركيبها أساسا معدن الكوارتز (السيليكا) وبذلك تكون تربة رديئة لعدم إحتوائها على أملاح أخرى تزيد من درجة خصوبتها . الأمر الذي يضطر الزراعيين إلى إضافة أنواع من الأسمدة لتعويض التربة عما فقدته من أملاح أزيلت بالذوبان على مر الوقت .

٤ - الظروف المناخية Climate

وتؤثر الظروف المناخية بطريقة مباشرة على نشاط البكتريا والمياه باسم بكتريا التربة والتي تساعد على تحلل المواد العضوية المتيدة نمو النباتات . ففي المناطق الحارة الرطبة تنشط البكتريا ويزداد تكاثرها مما يساعد على استهلاك الدبال أما في المناطق الباردة الجافة فإن تكاثر البكتريا يصبح ضئيلا مما يجعل التربة تحتفظ بكمية كبيرة من الدبال .

القطاع الجانبي للتربة Soil profile

تتميز التربة بصفة عامة بوجود ثلاث نطاقات تتواجد فوق بعضها وتعرف هذه النطاقات من أسفل إلى أعلى كما يلي :

١ - نطاق الصخر الأصلي (Bed rock zone) :- وهو السطح العلوي للأساس الصخري نفسه ويتكون من صخور مفتة جزئيا بفعل عوامل التجوية ويتدرج في حجم مكوناته من حصى وطين في أجزائه العليا إلى حمى فقط في أجزائه السفلى إلى أن يصل إلى الصخر الصلب الذي لم يأتثر بعوامل التجوية .

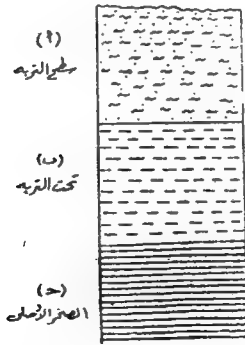
٢ - نطاق تحت التربة (Subsoil zone) :- ويملأ هذا النطاق نطاق الصخر الأصلي ويتراوح سمكه ما بين عدة سنتيمترات إلى إمتر أو أكثر قليلا (١٢٠ سم) ويحتوى على بعض معادن الصخر الأصلي الأكثر مقاومة

للحقل مثل الكوارتز إلى جانب الأملاح المترسبة من المعادن المتحللة وعادة ما يحتفظ هذا النطاق بالمياه الجوفية كما أنه لا يحتوي على مواد عضوية (دبال) .

٣ — نطاق سطح التربة Topsoil zone :

وهي كل ما يتواجد على سطح التربة من مواد بالإضافة إلى المواد العضوية . ويعتبر هذا النطاق نطاق مستقر دائماً حيث أن المياه السطحية تذيب ما فيه من أملاح وتحملها أثناء تحملها لترسيبها في نطاق ما تحت التربة . وتختلف لون هذا النطاق تبعاً لكية المواد عضوية . ويتراوح سمك هذا النطاق ما بين ٤٠، ٤٢، ٤٤ سنتيمتراً .

ومن الجدير بالذكر أن هذا القطاع الجانبي الموضح بالشكل (٩٠) يعتبر نموذجاً للتربة المتبقية أما في حالة التربة المفقولة فإن نطاق الصخر الأصلي لا يكون موجوداً ويستقر نطاق ما تحت سطح التربة على صخر آخر ليس له علاقة بأصل التربة .



(شكل ٩٠) قطاع جانبي للتربة ناتجة

أنواع التربة

كما سبق أن ذكرنا فإن نوع التربة يعتمد على الظروف المناخية ومن ثم عوامل التعرية المختلفة بالإضافة إلى طبيعة الصخور الأساسية والتي يتكون منها أو عليها الوشاح الصخري . ودراسة التربة من الناحية الجيولوجية يعطى فكرة عن المناخ أو الظروف البيئية السائدة وقت تكوينها . كما أنها فى بعض الأحيان قد تكون مصدرا لبعض الرواسب المعدنية الاقتصادية .

وهناك عدة أنواع من التربة . فمن واقع تصنيف هذه الأنواع نجد التربة إما أن تكون معصقة على أساس تركيبها المعدنى إلى :—

١ — تربة غنية باكاسيد الحديد والطين Pedalfer soils

٢ — تربة غنية بالكالسيوم Pedocal soils

٣ — تربة غنية باكاسيد الحديد والألومنيوم Laterite & bauxite

٤ — تربة غنية بمعادن السليكا

أو أن التربة تصنف على أساس لونها الواضح والذي أيضا يرجع إلى تركيبها المعدنى إلى :

(١) التربة الشبهاء Podsol وهى التربة الغنية بسليكات الألومنيوم

(٢) التربة الحمراء أو البنية Brown soil وهى التربة الغنية بالطين وأكاسيد الحديد

(٣) التربة الحمراء Laterite وهى التربة الغنية باكاسيد الألومنيوم المائية مع أكاسيد الحديد المائية .

٤) التربة السوداء Black soil وهي تحتوي على فئات صخرية ومواد عضوية قد تصل إلى ١٠٪.

٥) التربة الكستانية Chestnut soil وهي كالتربة السوداء ولكن لا يزيد ما بها من مواد عضوية عن ١٪.

ومن الجدير بالذكر أن العوامل المعقدة في الإخاج نوع معين من التربة هي أساسا عوامل التجوية والتي تعتمد على الإذابة والترسيب أي إذابة أنواع معينة من الأملاح ورسوب أنواع أخرى ومن ثم يتحدد التركيب المعدني وكذا لون التربة.

وبما أن عوامل التجوية المختلفة تتحددا بطرق المناخية فإن التربة الشبه مثالا توجد مادة في المناطق المناخية الباردة حيث لا تكفي سرعة التجميد ليكتسب إزالة المواد الدبابة وبذلك بقي بعض الأحماض في التربة فتتبادل الكبريتات القلوية التي تنتج من التحلل لثاني معادن السيليكات بصفة عامة أما التربة الحمراء أو البنية فتنشأ في المناطق المعتدلة مثل شمال غرب أوروبا وشرق أمريكا وهذه التربة لابد أن تعالج بمواد جيرية حتى تصبح صالحة للزراعة وذلك لعدم احتوائها على كربونات الكالسيوم والأملاح القلوية.

أما التربة الحمراء فتكثر في المناطق الرطبة ذات المناخ الحار كالساحل الاستوائية ويرجع ذلك الأمر إلى وجود أكاسيد الحديد مختلطة بأكاسيد الألومنيوم المائية وفي بعض الأحيان تستغل هذه التربة كمصدر لخام الحديد إذا تواجد بنسبة ماله

والتربة السوداء غير المناعية شبه صخرية والمتفرقة في روسيا وأمريكا

الشالية وصاخة جدا لزراعة القمح وتكوين التصلد الصخري لهذه التربة هو صخور التالوس المتكسكة والذي ينتشر في المناطق الجبلية صخر اوية نتيجة لعوامل التجوية في تلك المناطق ويعزى اللون التام في هذه التربة إلى كثرة المواد العضوية والتي تصل إلى ١٠٪ .

أما التربة المميزة للمناطق الصخر اوية فتكون تربة رملية صفراء أو بيضاء تتكون من حبيبات من الرمل المفتت نتيجة لعوامل التجوية الميكانيكية ومن مميزات هذه التربة خلوها من المواد الدالية حيث لا توجد نباتات بدرجة تكفي لتكوينها .

نقل نواتج التفتت والتعطّل Transportation

بعد عملية تفتت وتحلل الصخور يعوامل التعرية فإن نواتج التفتت هذه تتعرض للنقل بالوسائل المختلفة مثل التيارات المائية والرياح والتلابات وكذلك بتأثير الجاذبية الأرضية . كما أن الكائنات الحية قد يكون لها دور في عملية النقل . وفي أثناء عملية النقل قد يحدث تصنيف للنواد المحمولة على حسب حجمها . فهناك بعض الأجزاء التي يصعب نقلها ولكنها تفتت وتفتت وتترك في مكانها لتكون ما يسمى بالرواسب المتبقية أو المتبقلة . في حين أن الجزء الأكبر ينقل إلى مسافات مختلفة .

فالحمى والزلط طحة لا ينقل إلى مسافات طويلة بعيدا عن المصدر وذلك نظرا لكبير حجم الحبيبات . في حين أن المواد الدقيقة والأملاح الذائبة فانها تنقل إلى مسافات طويلة إلى أن يتم ترسيبها .

النقل بواسطة التيارات المائية :- يتم النقل بواسطة التيارات المائية جزئيا

عن طريق تدحرج الحبيبات للكثيرة على قاع المجرى المائي وخصوصاً قرب منبع النهر حيث تكون سرعة تدفق المياه كبيرة تساعد على حمل الحصى الكبير. أما بالنسبة للحبيبات الصغيرة والدقيقة فإنها تحمل معلقة مع تيارات الماء . وكلما زادت سرعة تدفق المياه زادت قدرتها على الحمل . ويلاحظ أن الحبيبات التي تنقل بالتدحرج على قاع المجرى المائي تكون أكثر استداره من التي تحمل معلقة مع التيارات .

والجزء الأكبر من المواد الرسوبية ينقل على شكل أملاح ذائبة حيث تجد طريقها في النهاية إلى البحر . وتقدر كمية الأملاح التي تنقل سنوياً إلى البحر بحوالى ٢٠ مليون طن .

النقل بواسطة الرياح : — يحدث النقل بواسطة الرياح في المناطق التي ليس بها نباتات حيث أن الغطاء النباتي يحمي الصخور من تأثير عوامل التعرية . ففي المناطق الصحراوية وحيث لا يكون هناك أمطار كثيرة فإن الرياح تعتبر - حمل النقل الرئيسى .

٣ — ترسيب المواد المنقولة Deposition —

عندما تنقل سرعة تيارات الحمل سواء مائية أو هوائية فإن معظم المواد المحمولة ترسب ماعدا المواد الغروية التي تظل معلقة ولا ترسب إلا إذا حدث أى تغيير كيميائى يسبب تجمعها وترسيبها . ولكن بالنسبة للمواد المنقولة على شكل أملاح ذائبة فاما أن ترسب مباشرة بتأثير عملية البخر أو نتيجة التفاعلات الكيميائية التي قد تحدث بين المحاليل فتؤدي إلى تكون أملاح غير قابلة للذوبان . وقد تعمل بعض الكائنات الحية على الترسيب وذلك بأن تأخذ المياه التي بها أملاح ذائبة ثم تعيد فرز الأملاح الذائبة على شكل مبدقات لها .

البيئات المختلفة للترسيب Environments of deposition

تتمتع طبيعة الصخور الرسوية الناتجة على عاملين أساسيين :-

١ - نوع صخور الأصل التي تنبت وكونت الصخر الرسوبي .

ب - البيئة التي ترسب فيها . فيحدد نوع الصخر الأصلي التركيب المعدني للصخر الرسوبي الناتج . ولكن بيئة الترسيب تحدد الخواص الطبيعية للصخر .

ويمكن تقسيم بيئات الترسيب إلى قسمين أساسيين :

١ (البيئات القارية Continental environments

٢ (البيئات البحرية Marine environments

البيئات القارية :- وهذه تشمل الترسب في المناطق القارية سواء في المياه العذبة أو المناطق اليابسة . ويمكن تقسيم البيئة القارية إلى عدة أنواع :-

١ - البيئة النهرية Fluvatile environment : حيث يتم الترسيب في مجارى الأنهار وعلى ضفاف هذه الأنهار في وقت الفيضان . وتعرف معظم الرواسب من هذا النوع باسم الغرين Alluvium .

ب - بيئة البحيرات العذبة Fresh water lakes : في حالة البحيرات الكبيرة فإنه يمكن ملاحظة ثلاثة مناطق وهي المنطقة الساحلية حيث توجد الرواسب خشة الحبيبات ثم المنطقة متوسطة العمق حيث تكون الرواسب أصغر حجماً إلى أن تندرج إلى رواسب دقيقة الحبيبات في الأعماق الكبيرة .

ج - بيئة البحيرات المالحة Salt lake environment : فالبيئات التي توجد طريقها إلى هذه البحيرات لا تجد لها مخرج . ولكن الطريقة الوحيدة لمخرج

الماء هي البحر حيث تتركز الأملاح الذائبة إلى أن تتشبع المحاليل وتترسب الأملاح الذائبة على حسب درجة ذوبانها فترسب أولا الأملاح الأقل ثم يليها الأكثر ذوبان .

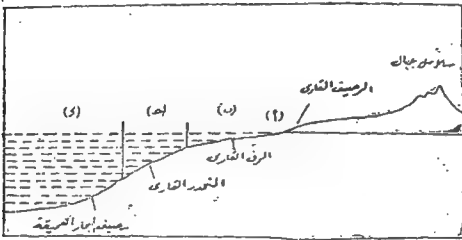
و- البيئة الجليدية Glacial environment : عندما تتحرك التلجيات فإنها تجرف في طريقها كل ما تتجلبه من حصى وزلط وأي أنواع أخرى . ثم بعد ذوبان الجليد في فصل الصيف يترسب كل ما تحمله هذه التلجيات . ويختلف هذا النوع من الرواسب عن الرواسب النهرية في أنها تكون رديئة التصنيف بمعنى أنها تكون مكونة من حبيبات كبيرة وصغيرة مختلطة مع بعضها . هلاوة على أنها لا تكون مستديرة بالمقارنة بالرواسب النهرية .

و- البيئة الهوائية أو الصحراوية Aeolian environment : يتم النقل والترسيب بواسطة الرياح وذلك في المناطق الصحراوية حيث ينسدر سقوط الأمطار في هذه المناطق . ومثال ذلك الكثبان الرملية المنتشرة في الصحراء الفرية . حيث تترسب الرمال المحمولة بالرياح على شكل كثبان كبيرة . ويأخذ الكثبان الرملية في الكبر إلى أن يصل إلى إرتفاع تكون فوقه قوة الرياح وسرعتها لا تسمح بمزيد من الترسيب وتتحرك هذه الكثبان الرملية في إتجاه الرياح وتأخذ عادة أشكالاً مختلفة أو نضعها إنتشاراً هو الشكل الهلالي ويسمى Barchan .

٢- البيئة البحرية Marine environment : تغطي البحار والمحيطات حوالي ثلث مساحة سطح الأرض . والجزء الأكبر من المواد الرسوبية ينقل إلى هذه البحار والمحيطات حيث تترسب في القاع . والحد الفاصل بين القارة

والبحر ليس هو خط الشاطئ، ولكنه على عمق حوالى ٦٠٠ قدم . والمنطقة بين خط الشاطئ إلى عمق ٦٠٠ قدم تعتبر تابعة للقارة وتسمى بالرصيف القارى Continental shelf .

ويمكن تقسيم البيئة البحرية إلى ثلاثة مناطق على حسب العمق :-



(شكل ٩١) مناطق الترسب المختلفة فى البحر أو المحيط

١ - المنطقة الشاطئية Shore zone : وهى المنطقة المحصورة بين أعلى منسوب وأقل منسوب يصل إليه سطح ماء البحر . وهذه المنطقة فى الحقيقة تتبع القارة وتتكون من الحصى والزلط والرمل ذو بيئة مخططة (بحرية ونهرية) . أما الرواسب الدقيقة فلها تحمل إلى الأعماق الكبيرة .

ب - المنطقة الساحلية The shallow water zone : وتشمل هذه المنطقة الرصيف القارى - أى المسافة من خط الشاطئ إلى عمق ٦٠٠ قدم - حيث تكون الأمواج البحرية قوية ويعمل تأثيرها إلى القاع بقلب الرواسب الموجودة فى القاع وتساعد على نقل المواد الدقيقة إلى الأعماق الكبيرة :

حـ - المنطقة العميقة Deep water zone : وتشمل المناطق ذات عمق أكبر من ٦٠٠ قدم - وفي هذه المنطقة لا يعمل تأثير الأمواج إلى القاع - والرواسب التي تعمل إلى هذه المناطق العميقة تستقر على حالتها ولا يحدث لها أي تحريك فيما بعد . وتكون الرواسب عبارة عن العيين المختلط ببعض الصعالب البحرية .

وفي حالة البحار المغفولة مثل البحر الأسود فإنه لا تكون هناك تهوية كافية في الأعماق مما يؤدي إلى تكون ما يسمى بالبيئة المختزلة Reducing environment نظراً لعدم وجود أو كسجين كافى مما ينتج عنه تحال المواد العضوية وتوليد غاز كبريتيد الأيدروجين (بي. كب) والأمونيا والتي تعتبر عوامل مختزلة فتكون بعض معادن الكبريتيدات مثل البيريت (Pyrite FeS_2) .

التغيرات التي تطرأ على الصخور بعد ترسيبها : Post-Depositional changes

بعد ترسيب الصخور قد تهاك حبيباتها إما نتيجة للضغط الواقع عليها بعد دفنها على أعماق كبيرة - أو كنتيجة لترسيب مادة لاحمة بين حبيباتها . والمحاليل التي تتخلل حبيبات الصخور لترسب المادة اللاصقة قد تعمل على إذابة بعض مكونات الصخر ليحل محلها معادن أخرى . ولذلك فإن الصخر الناتج قد يختلف تماماً عن الصخر الأصلي وقت الترسيب .

التحت Erosion

والتحت هو أحد العمليات الرئيسية التي تسبب في تآكل شكل القشرة الأرضية كعمليات التعرية تماماً وعوامل التآكل هي نفسها عوامل التعرية مثل الرياح والأمطار والأنهار ومساقط المياه والبحار والأنهار الثلجية وفي عمليات التآكل تبذل عوامل التآكل طاقة فعالة تؤدي إلى ما يسمى بالعمل الهدمي لهذه العوامل وعلى التقيض فإن تضاعفت هذه الطاقة فإن عوامل التآكل تؤدي إلى ترسيب المواد العالقة والذائبة فيها وبهذا تؤدي إلى ما يعرف بالعمل البنائي لعوامل التآكل .

١ - تحت الرياح Wind Erosion

ويسود تحت الرياح في المناطق الصحراوية الجافة والتي يقلل أو يندر وجود النباتات أو الغابات بها ومن ثم تكون المواد المتكسكة أو المكسرة عرضة لعملية التآكل بواسطة الرياح وكما أسلفنا الذكر أن لكل عامل من عوامل التآكل جزء خاص بالهدم وآخر خاص بالبناء ويتوقف العمل الهدمي للرياح على ما تحمله من مواد عالقة بها كالحصى والرمل والتي تعمل كأسلحة لعمليات صقل أو برى الصخور التي تقابلها ويعتمد تأثير تحت الرياح على شدتها أو قوتها بالإضافة إلى نوع المواد العالقة بها . ومن البديهي أنه إذا كانت الرياح ضعيفة فإن أثرها الهدمي يكون ضئيلاً جداً . وتتغير سرعة الرياح وبالتالي شدة تأثيرها تبعاً للتغيرات المناخية وكذلك تتوقف على تضاريس المنطقة . ولا تؤثر الرياح المحملة بالمواد المتفتتة بنفس القدرة على كل أنواع الصخور فهناك أنواع من الصخور ضعيفة المقاومة لتأثير الرياح

فتأكل سربها دون غيرها والأكثر صلابة وهذا تتكون بعض الظواهر الجيولوجية المعروفة مثل المصاطب الجيولوجية والتي تتكون من أجزاء من صخور صلبة تملأ صخوراً أقل صلابة أو متآكلة من أثر الرياح وأيضاً ما يسمى بصخور عش الغرب أو موائد الشيطان كما في شكل (٩٢) .



موائد الشيطان

(شكل ٩٢) موائد الشيطان

وترسب الرياح ما بها من مواد غائقة عندما تصطدم بعقبات تعترض طريقها فتلقى بما تحمله من رمال وأتربة مكونة ما يسمى بالكثبان الرملية والتي تختلف في أشكالها من كثبان مستطيلة موازية لاتجاه الرياح إلى كثبان هلالية .

هذا ويجب الإشارة إلى ما يعرف بالحصى الرياحي والكثير الانتشار بالمناطق الصحراوية وهو حصى دُرّ زوايا ومعقولة تحدت أشكاله نتيجة لاتجاه الرياح السائدة شكل (٩٣) .

وكيات المواد المنقولة بواسطة الرياح ضعيفة جداً بحيث لا يستهان بها

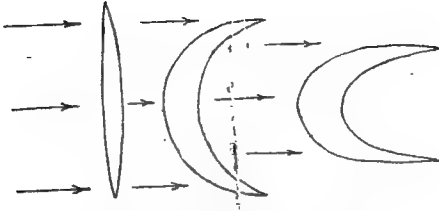


(٩٣ شكل) حصون رياحى

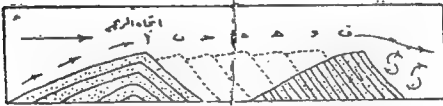
ففى بعض الأوقات وفى كثير من المناطق الصحراوية تحجب الأتربة والرمال المنقولة بواسطة الرياح الشمس عن سطح الأرض ويبنو الجو مائلاً إلى لون الإصفرار أو الأحمرار تبعاً لنوع ما يحمله الهواء من أتربة .

الكثبان الرملية Sand dunes

وهى تجمعات رملية ذات أحجام وأشكال مختلفة وقد تغطى مساحات ضخمة وهى نوعان إما كثبان شاطئية أو نهريّة وأما كثبان صحراوية والذى يعنينا هنا عند التكلم عن الرياح وأثارها النوع الأخير من الكثبان وتتكون هذه الكثبان نتيجة لإختلاف - حجم الحبيبات الرملية المغطية للمناطق الصحراوية - والذى تجعل الرياح تحمل الحبيبات الدقيقة دون غيرها تاركة وراءها الحبيبات الخشنة والذى تكون ما يعرف بتجمعات الحصى الرملى والذى تزيد من قوة تطاير الرياح الشديدة التى تصطم بها وتؤدى إلى ترسيب الحبيبات الدقيقة فيما يعرف بإسم البقع الرملية التى إن زادت وكبر حجمها يكون ما يسمى بالكثبان الرملية . وتنمو الكثبان الرملية عادة ولها تراكيب مختلفة فمنها ماهر ثابت ومنها ماهر مهاجر . وتتخذ الكثبان الرملية الصحراوية أشكالاً عديدة تعتمد على سرعة الرياح وثبات اتجاهها وكذلك الإمتداد الرملى وفى حالة ما تكون الرياح ثابتة الإتجاه فإن أشكالاً معينة من



٣ (شكل ٩٤) الأشكال الهلالية للكتبان الرملية



(شكل ٩٥) كيفية تحرك الكتبان الرملية في اتجاه الرياح

الكتبان الرملية تتكون وهي الكتبان الهلالية والكتبان الطويلة كالمبين في شكل (٩٤) أما إذا تغير اتجاه الرياح باستمرار فإن أشكالاً معقدة غير منتظمة تنتج بصفة مستمرة . وبين شكل (٩٥) كيفية تحرك الكتبان الرملية في اتجاه حركة الرياح .

٢ - نحت المطر Rain Erosion

كما أشرنا من قبل أن الأمطار تكثر في المناطق الإستوائية وكذلك في المناطق الساحلية من القارات نتيجة للبخر الناشئ من تأثير الشمس على مياه البحار والبحيرات... إلخ وعندما تسقط الأمطار فإنها تقوم بعمل هدمي يتحدد بما تحدثه هذه الفتات الصخرية من إحداث للفتات الصخرية من ق

المرتفعات والجبال وما تحدته هذه الفئات الصخرية من تحت لا تنزلق فوقه من صخور بالإضافة إلى ما تذيبه مياه الأمطار من صخور قابلة للذوبان خاصة وأن مياه الأمطار لها القدرة على إذابة كبريه من ثاني أكسيد الكربون الموجود بالجو وعندما تسقط الأمطار في أى منطقة من المناطق فإن جزء منها يتغلغل سطح القشرة الأرضية مدب ما هو قابل للذوبان، ومكونا لما يعرف بالمياه الجوفية وجزءا يتبخر أما الجزء الثالث فيسب على سطح الأرض مكونا مما يعرف بالمياه الجارية كالأنهار المؤقتة ومساقط المياه وغيرها ...

٣ — تحت السيول Torrent Erosion

والسيول هي عبارة عن الأنهار الوقية والتي تتكون عندهطول مطر غزير على منطقة من المناطق خاصة المناطق المرتفعة . وعمل السيول هدمى حيث تجرف ما تقابله في طريقها من كتل صخرية وجلايدوحصى وتنشق لها مجرى تحاول تعميقه بصفة مستمرة مكونة ما يعرف بالأخوار العميقة Canyons ويبدأ العمل البنائى للسيول بمجرد ما تنتشر مياهها على سطح الأرض فتتقد سرعتها وتبدأ برسيب ما تحمل من مواد عالقة .

٤ — عمل النهار Rivers action

تعتبر الأنهار مياه جارية ولها أثر فعال كعامل من عوامل النقل والتآكل وخاصة في المناطق المعتدلة المناخ فإن المياه الجارية تعتبر من أهم عوامل التعرية إذا ما قورنت بعمل الجاذبية أو الرياح . ولدراسة تأثير الأنهار كعامل من عوامل النقل والتآكل أو البرى فانه لابد من الإشارة إلى بعض الأساسيات في دراسة الأنهار وهي : طاقة النهر ووجهاته ومعنى التبعثر النهري وكذلك قانون شدة التراكيب النهري .

طاقة النهر Energy of stream

لقد دلت الدراسة المستفيضة التي قام بها العالم جلبرت (Gilbert) والتي وضع على أساسها نظريته المشهورة بنظرية جلبرت ومحتواها أن كل نهر له كمية معينة من الطاقة تعتمد على سرعته وحجمه . وحجم النهر في العادة يكون ثابتاً إلا أن سرعته تعتمد على عوامل عديدة أهمها الانحدار في مجراه بالإضافة إلى كمية الاحتكاك الناشئة بين مياه الأنهار الجارية وقاع وجوانب هذه الأنهار ولذلك فإن شكل المجرى النهرى له أهمية كبرى . وطاقة النهر يعبر عنها بأنها الطاقة الناتجة من الاحتكاك نتيجة لنقل المواد العالقة في المياه . وحيث أن طاقة النهر هي كمية ثابتة فإن هناك علاقة واضحة بين النقل والاحتكاك وهذه العلاقة هي أن مجموع طاقة النقل الاحتكاك ثابت .

والمواد العالقة في مياه الأنهار لها تأثير جيولوجى ضئيل ولكن المواد المتدحرجة على قاع المجرى هي التي تؤثر وتعمل بطاقة حركتها . فكل حبيبة أو كتلة صخرية متدحرجة تمسك بحدود أو قاع المجرى لها تأثير فعال على تماسك الطبقات الصخرية المكونة لهذا القاع أو هذه الحدود . ومن ثم فإن الحبيبات الصخرية المتحركة هي الأسلحة التي تستخدمها الأنهار في عملية البرى والتآكل أما القوى المؤثرة فهي طاقة حركة النهر نفسه وبهذا يتضح كيف أن عمليتي البرى والتآكل متلازمتين في عمل الأنهار .

حمولة النهر Load of stream

وحمولة النهر هي تلك الكمية من المواد الصخرية المفتتة التي يستطيع أى نهر ذو حجم معين على حملها . ونظرياً يمكن تصور أن وزن حمولة النهر لا يجب أن يتأثر بحجم المواد المحمولة ولكن وجد عملياً أن النهر يستطيع أن

يحمل كمية من المواد الدقيقة عن أنه يحمل حمولة صغيرة من المواد ذات الأحجام الكبيرة . وحمولة كل نهر مقدار ثابت هو الحد الأدنى لهذه الحمولة . فإضافة أى كميات تزيد عن حمولة نهر من الأنهار لا بد وأن يرسب مقابلا لها مما يحمله النهر . وعند تساوى كمية ما يحمله النهر مع كمية ما يرسبه فإنه يصبح نهرا عجوزا ولا يستطيع تعميق مجراه .

معنى النحت للنهرى :-

تتوقف عملية النحت الناتجة من عمل الأنهار على طبوغرافية الأرض وخاصة المجرى المائى فما هو معروف أن النهر طادة ينحت بشدة فى المصخور عند منابه حيث تكون هذه المناطق عالية وشديدة الانحدار وعلى العكس فإن قوة نحت النهر تصبح صفرا عند المنصب وذلك لقلة الانحدار الذى يقلل من سرعة المياه ومن ثم فإن معدل الترسيب يكون هائلا جدا عند مصب الأنهار بصفة عامة .

كما أنه يجب الإشارة إلى أن أى ارتفاعات وانخفاضات طبوغرافية تعرض مياه الأنهار تؤثر فى قوة النحت أو زيادة الترسيب . كما سبق أن شرحنا .

قانون التراكيب النهرية :

للتراكيب الجيولوجية الموجودة فى الأنهار خصائص معينة ولها قانون خاص يحكمها من حيث نشأتها وطبيعتها تكونها . وتعتمد تلك التراكيب بصفة خاصة على نوع وخصائص الصخور التى تمر عليها تلك المياه الجارية وبصفة خاصة صلابة تلك الصخور .

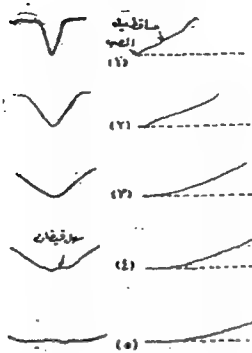
وبهذا فان معدل أو قوة تحت أى نهر من الأنهار يعتمد بالدرجة الأولى على درجة صلابة الصخور . فالصخور اللينة يمكن إزالتها إما عن طريق ذوبانها أو تفكيكها بسرعة بينما تبقى الصخور الصلبة أو الأشد مقاومة على هيئة بروجزات أو نتوءات في مجارى الأنهار . وبمرور الوقت فان هذه الصخور أيضا تتأثر بعوامل التحلل بالإضافة إلى الارتطام المستمر بالمياه الجارية مما يؤثر على مقاومتها . ويستمر الوضع كذلك إلى أن تصل قدرة النهر على التحت إلى الحد الأدنى فتبدأ عملية الترسب . وب تكرار هذه العمليات أى التحت والترسب نجد أن التضاريس النهرية تختلف بشدة من نهر إلى آخر معتمدة كلية على الاختلاف الموجود فى صلابة الصخور .

مراحل عمل النهر (دورة التحت) (River stages or cycle of erosion)

تمر الأنهار من منبعها إلى مصبها بمراحل متعاقبة يقال لها مراحل عمل النهر أو دورة التحت وتقسم هذه المراحل إلى ثلاثة : الشباب والنضوج والكهولة .

١ - مرحلة الشباب Youth stage

وتتميز هذه المرحلة بكونها بخلاف بقدرتها على التحت - تحت مجراها - وذلك لما فى هذه المرحلة من سرعة تدفق مياه النهر نتيجة الانحدار الشديد والذي يمكن النهر من حل كل ما يمتصه أثناء سريانه . وبشبه شكل مجارى الأنهار فى هذه المرحلة شكل حرف ٧ (شكل ٩٦) وتمثل شدة انحدار جوانب الوديان والتي لم تتمكن المياه النهرية من توسيعها بعد . وتتميز هذه المرحلة من عمر الأنهار بوجود العديد من الماقط للمياه .



(شكل ٩٦) نطاع إلى مجرى النهر في مراحل الخطة

ب - مرحلة النضج Mature stage

وتلى مرحلة الشباب للنهرى وتتميز بأن تكون جدران النهر أقل حدة في انحدارها ويكون النهر إلى حد كبير غير قادر على مزيد من النحت أو أنه وصل إلى الحد الأدنى في قدرته على النحت ويصبح قادراً فقط على أن يحمل حمولاته النهرية بحيث أن أى إضافة لهذه الحمولة تحدث عملية الترسب كما ذكرنا سابقاً .

ويصبح مجرى الأنهار في هذه المرحلة على الشكل V أو حرف V مقلوبة

ج . مرحلة الكهولة Old stage

وتلى هذه المرحلة مرحلة النضج وتكون باستمرار قرب مصب الأنهار حيث لا يكون هناك نحت إطلاقاً بل ترسيب وتسوية لطبوغرافية المنطقة الموجودة بها الأنهار .

تجديد شباب النهر (نضال الأنهار) Rejuvenation of rivers

ليس من الطبيعي أن نتصور المجرى النهري متحدراً بلطف خلال مسافات تقدر في بعض الأحيان بالآلاف الكيلومترات ولكن هناك ما يعرف بالمصاطب أو الطبقات الصلبة التي تكون ما يسمى بالدرج أو السلم الصخري rock-steps في بعض الأماكن من المجرى نفسه والتي تصل على اندفاع المياه أسفلها بقوة مما يعيد شباب النهر في تلك الأماكن ينما هو كلاً على هذه المصاطب الصخرية. هذا بالإضافة إلى أن الحركات الأرضية الرافعة ترفع أرض المجرى في بعض الأماكن مما يؤدي إلى ازدياد سرعة تياره وبالتالي يستأنف النهر تعصيق مجراه ينما تقل أهمية التآكل الجانبي أو تتعدم .

الظواهر الطبوغرافية الناتجة من عمل الأنهار

تقديم :-

من الحقائق البديهية أن خواص الأنهار ونتائج عملها الجيولوجي تختلف كثيراً من بعضها من منطقة إلى أخرى فهناك طارق كبير بين نواتج الأمصار النهرية في المناطق الجبلية والتي تتج من تيارات المياه النقية بما فيها من مساقط مائية وشلالات تنساب على طبقات صخرية مختلفة الأنواع وبين مجارى المياه البطيئة على السهول المنبسطة بجاراتها الغضيفة للماء العالق به الطين والحماط بالمستنقعات المليئة برواسب الطفل والقرين .

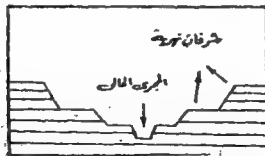
ولاشك أن الاختلافات كلها ترجع أساساً إلى نوع وخصائص المادة الصخرية التي يتساق عليها الماء والتي يعتمد عليها تأثير وفعالية عمليات التعرية والتجوية والترسب في المنطقة . ويعنى آخر فإن طبوغرافية أي وادى نهري

يعتمد على عدة عوامل أولها بل وأهمها صلابة الصخور يليها عمر النهر النضبي وكذا المناخ .

هذا ومن الجدير بالذكر أن العمل الجيولوجي للأنهار له فئرة يكون أثناء زمن التفيضان فقط والذي يجعل لكل نهر حمولة . فبدون المسود الصخرية المتحركة في مجارى الأنهار لا يوجد هناك أثر جيولوجى كبير .
وعما يجب أخذه في الاعتبار بجانب صلابة الصخور أو شدة مقاومتها لعوامل التعرية فإن وجود عديد من الفواصل والشقوق في المادة الصخرية المكونة لمجارى وجوانب الأنهار تساعد كثيرا في فعالية عملها الجيولوجى .
ومن الظواهر الطبوغرافية الناتجة من عمل الأنهار نلاحظ مايل : —

١ — الشرفات النهرية — River terraces

وهي عبارة عن تلك المصاطب الممتدة بطول جانبي النهر وتشبه دريات السلم في تقايها — الواحدة تلو الأخرى — وهذه المصاطب تكون متقايله على جانبي مجرى النهر ويمثل كل زوج من هذه الشرفات حركة من حركات رفع المجرى التي تؤدي إلى تجديد شباب النهر مما يؤدي إلى تعميق مجراه وبهذا فان الشرفات العليا تكون هي الأقدم بالنسبة لما تحتها من شرفات وهكذا .
شكل (٩٧)



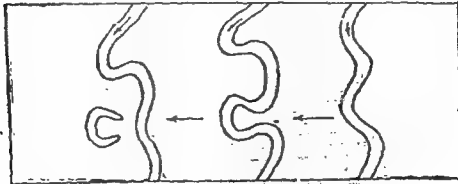
(شكل ٩٧) يبين كيفية تكون الشرفات النهرية

٢ — المنعطقات النهرية River meanders

عندما يعمل أى نهر من الأنهار إلى حده الأدنى فى قوته على التثبيت فإنه لا يستطيع تعميق مجراه ولكنه فى نفس الوقت مازال يحمل جزءا من الطاقة والتي لابد أن يستخدمها بصورة أو بأخرى . ولقد وجد أن الأنهار فى هذه المرحلة (أى مرحلة الكهولة) تبدأ فى عملية التآكل الجانبى Lateral corrosion فاذا اعترض مجرى الميساء فى هذه المرحلة أى عائق صخرى فإنه يؤثر على اتجاهها مما يؤدى إلى أن يتخذ النهر مسارا متعرجا غير مساره المستقيم . ويكون التعرج بسيطا فى أول الأمر إلا أنه مايلت أن يزداد بارتطام المياه فى جوانب هذه المنحنيات فيقمر جانبنا بينما يرسب مواد مما يحملها فى جانب آخر ويصبح هذا التعرج أو الالتواء واضحا جدا ويميزا .

وفى معظم الأحيان تزيد هذه الالتواءات بحيث تصبح المسافة الفاصلة بين تقطين على خط مستقيم صغيرة جدا مع أن المجرى المائى المتلوى يكون طويلا وينشأ بهذا عنق ضيق وخاصة أيام الفيضان مما يؤدى إلى تكون ما يعرف بالبحيرات الهلالية Crescent-shaped lakes . كما هو مبين بالشكل (٩٨) .

ومن الجدير بالذكر أنه فى مناطق المرتفعات hilly districts ذات الانحدارات الشديدة يتعلم وجود هذه الالتواءات أو البحيرات الهلالية .



(شكل ٩٨) يبين المنعطقات النهرية وكيفية تكون البحيرات القوسية

٣ — أراضي الخمران Bad lands

وفي بعض الأحيان تكون أراضي الخمران مساحات شاسعة وتنتج من آثار الأمطار الغزيرة والمياه الجارية على الأراضي التي تتكون من مواد صخرية غير متماسكة ومختلفة الأنواع فتتفتت وتذيب فيها السيول والأمطار الغزيرة وتحيل هذه الأراضي إلى شبكة من الحفر والمنخفضات والخمران والحواقي الصغيرة التي تفصلها بروجات وتؤات صخرية مما يجعلها صعبة العبور . وتنتشر هذه الأراضي في المناطق الشبه صحراوية أو القاحلة كمنطقة سيناء مثلا بجمهورية مصر العربية والتي تتساقط عليها الأمطار بغزارة في بعض الفصول بينما يسودها الجفاف في فصول أخرى .

٤ — الحفر الوعالية Pot holes

وكما أسلفنا الذكر فإن الأنهار العديدة الجولة لا تبتذك شغلا إلا قليلا ولكن بالرغم من هذا فإن هناك نومان من العمل الميكانيكي تنتج عن السرعة المتفاوتة لمياه الأنهار والتي تؤثر مباشرة على صخور القاع . وهذه السرعة المتفاوتة تحدث تيارات ودوامات صغيرة ذات حركة دائرية لولبية تحمل معها حمى الصخر الصغرى وتدور في حركة طاحنة ودائمة تنتج ثقوبا وحفرا في القاع الصخري تكاد تكون مستديرة . وبمرور الوقت تتسع هذه الحفر وتضمحل جوانبها وفي بعض الأحيان تتلاصق وتتلاحم هذه الحفر الصغيرة مكونة حفرا أكبر وأكبر والتي تصل إلى أعماق كبيرة .

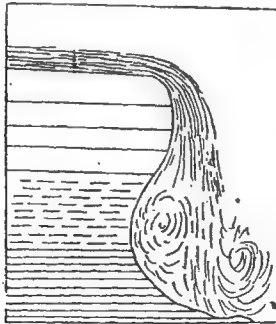
٥ — العمدان الأرضية Earth pillars

وهي من الظواهر الواضحة والتي تؤكد اعتماد تضاريس أى منطقة من المناطق على التراكيب الصخرية . وهي عبارة عن أعمدة عالية من صخور

ورخوة غير متساكة كالطقل والطين وتنتهي عند رؤسها بجلازيميد وكتل كبيرة من الصخور الصلبة . وتنشأ هذه العمدان من تأثير الأمطار على الصخور الغير متجانسة التركيب كصخور الطين الجلودى أو بعض صخور الكونجولومرات حيث يتكون الصخر من كتل صلبة مدسوسة في مواد لينة دقيقة الحبيبات وتستعمل هذه الكتل الصلبة في حماية المواد الدقيقة من عمل الأمطار فيختفي خلفها وتحميها من الإزالة بالبول الجارفة ومن ثم تظهر الكتل الصلبة وكأنها تتوج أعمدة المواد الدقيقة والتي يعمل ارتفاعها في بعض الأحيان إلى عشرون مترا .

٦ - الجروف Escarpments

وتنشأ هذه الجروف عند وجود طبقات صلبة إما في وضع أفقي أو مائلة قليلا تتبادل مع طبقات رخوة ومن ثم يسهل إزالة الأخيرة بواسطة المياه النهرية بينما تبقى الصخور الصلبة في أوضاع بارزة مكونة بما يعرف بالجروف . (شكل ٩٩) .



(شكل ٩٩) مساقط المياه وتأثيرها في تكون الجرف

٧ — المخاويق والأخاديد Georges & canyons

والمخاويق هي وديان ضيقة ذات جوانب شديدة الانحدار أو تميل إلى أن تكون رأسية تقريبا أما الأخاديد فهي متسعة وعميقة جدا. النسبة لإنساعها مثل أخدود كولورادو الشهير بأمریکا والذي يبلغ طوله ٣٠٠ ميل بينما أقصى عمق له حوالي ٦٠٠ قدم.

وتتكون المخاويق والأخاديد من تدفق المياه بسرعة كبيرة من ارتفاعات عالية مما يؤدي إلى تعميق الوديان بصورة واضحة.

• — تحت البحار Marine Erosion

وعمل البحار بتأثير أكثر منه هدمي وذلك لأن البحار بصفة عامة تعتبر أسبب الأماكن التي يتم فيها الترسيب فقاع البحر هو حوض ترسيب كبير لجميع المواد سواء عالقة أو ذائبة في المحاليل البحرية.

وتتبادل العمل الهدمي للبحار يرجع إلى تجديد هذا العمل بالأمواج والتيارات البحرية وللدوالجزر وكلها عوامل تنحصر في منطقة ضيقة من البحار وهي المناطق الشاطئية.

والأمواج طاقة مياه حركية تختلف في شدتها تبعاً لشدة الرياح وكذلك يختلف حجمها من أمواج يبلغ ارتفاعها ١٠ أمتار أو أكثر في حالة العواصف في المحيطات والبحار المفتوحة إلى أمواج أقل حجماً في البحار المقفولة كالبحر الأبيض المتوسط وتعمل الأمواج دائماً على مهاجمة صخور الشاطئ فتكسرها وتحطمها وتعود لتهاجم بما تحمله من مواد عالقة. وتختلف صخور الشاطئ من صخور ضعيفة المقاومة للأمواج إلى صخور صلبة تقاوم مهاجمة الأمواج

ومن ثم تنشأ بعض الظواهر الجيولوجية الشاطئية كالتمرجات والمغارات والكهوف الشاطئية .

أما المد والجزر فهو حركة منتظمة لمياه البحر تحدث كل ١٢ ساعة ٢٦٤ دقيقة ويرجع سبب المد والجزر إلى ما بين الأرض والقمر من قوى الجذب وتراوح الفرق في منسوب ارتفاع الماء ما بين المد والجزر إلى عدة أمتار قد تصل إلى ١٥ متراً في بعض الخلجان ولكن الطبيعي أن يكون من نصف متر إلى مترين كما أن الفرق في المنسوب يزداد في أوائل كل شهر قمرى ومتنصفاً بينا يقل في الأيام الأخرى . ويؤدى عمل المد والجزر إلى تكوين ما يسمى بالعتبات المدرجة على الشواطىء . والتي تدل كل منها على منسوب المياه في وقت كل من المد والجزر .

والتيارات البحرية تنشأ في العادة من اختلاف كثافة المياه وكذلك درجة حرارتها ودرجة الملوحة . . الخ . وتكثر التيارات البحرية في المحيطات والبحار المفتوحة عنها في المنطقة ومن أهم وأضخم التيارات البحرية الموجودة في العالم ذلك التيار الدافئ الذى يبدأ من خليج المكسيك ويجه شمال شرق حيث يطوف بالشواطىء الغربية لأوروبا .

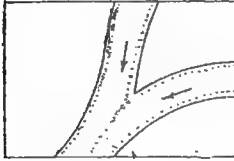
ومن الجدير بالذكر أن هناك بعض التيارات المحلية والتي تعرف بالتيارات الساحلية والتي تعتمد على الرياح وطبيعة الساحل .

والعمل الناتج للبحار معروف وهام جداً من الناحية البيولوجية فكما ذكرنا آنفاً أن البحار هي أحواض ترسيب كبيرة لكل ما تحمله الأنهار والرياح . والعوامل الأخرى . والبحار قدرة خاصة على عملية تصنيف الرواسب أى

توزيعها الحجمى فعلى الشواطىء ترسب الحبيبات ذات الاحجام الكبيرة كالصلى والرمل الخشن بينما ترسب المواد الدقيقة فى الأعماق .

٦ تحت التلاجات Glacial Erosion

والتلاجات هى عبارة عن أنهار ساكنة من الجليد تتحرك ببطء جدا وتتراوح سرعتها ما بين بضعة سنتيمترات ومتر تقريبا فى كل ٢٤ ساعة وتكثر التلاجات بالمناطق القطبية وعلى قم الجبال خاصة فتوجد طول العام فى تلك المناطق.



حالة تقابل نهران جليديان فإنه (شكل ١٠٠) كيفية تتكون صف متوسط من المواد المنقولة بواسطة التلاجات . يتكون صف وسطى من المواد المنفتحة المحمولة كما هو مبين

بالشكل (١٠٠) وعند إداية الأنهار الجليدية فانها تلقى بكل ما تحمله دفعة واحدة بدون أى تصنيف لهذه المواد ومن ثم فإنه من المعروف عن الأنهار الجليدية أن ليس لها أدنى قدرة على تصنيف الرواسب ومن الجدير بالذكر أن الأنهار الجليدية لها قدرة فائقة على حمل الكتل الكبيرة جدا من الصخور الأصم الذى لا يجوافر لدى الأنهار العادية .

المياه الجوفية Underground water

ويقصد بها المياه الموجودة داخل صخور القشرة الأرضية والتي يرجع

أصلها إلى المياه الجارية على سطح الأرض حيث يتسرب جزء كبير منها خلال مسام وشقوق الصخور المختلفة .

والمياه الموجودة في صخور القشرة الأرضية تتدرج نسبتها من مجرد مياه مرتبطة بالتركيب الكيميائي لبعض المعادن إلى كونها مياه حرة طبقة الحركة بين مسام وفجوات الصخور المختلفة . وقد تكون المياه الأرضية محصورة أو مقيدة داخل شقوق ومسام طبقة ممتدة ولا تستطيع الحركة إلى أسفل أو أعلى في هذه الطبقة نظراً لوجود صخور غير منفذة على جانبي الطبقة الحاملة للمياه . ويمكن تعريف المياه الجوفية الحرة *Unconfined ground water* بأنها تلك التي تملك وسيلة الاتصال بالجو خلال المسام والشقوق الموجودة في الصخور التي تعلو الطبقة الحاملة . ويلاحظ في هذه الحالة أن منسوب المياه الأرضية يكون أفقى وموازى لسطح . أما المياه الأرضية المقيدة *Confined ground water* هي التي لا صلة لها بالجو لوجود صخور غير منفذة تفصل بينها وبين سطح الأرض . وفي هذه الحالة يكون منسوب المياه الأرضية غير تابع لسطح الأرض .

وفي الأماكن التي بها مياه أرضية حرة يمكن تقسيمها إلى ثلاثة مناطق :

١ — المنطقة الجافة أو الغير مشبعة *Zone of non-saturation* وهي المنطقة الموجودة تحت سطح الأرض مباشرة وتتميز بعدم احتوائها إلا على آثار قليلة من الماء أو الرطوبة .

٢ — المنطقة متوسطة التشبع *Zone of intermediate saturation* وتلي المنطقة السابقة ويكون الماء موجود فقط في الشقوق الرفيعة جداً والمسام الدقيقة كمسام البصخور الطينية وذلك نتيجة للعاصمية الشعرية .

٣ - المنطقة دائمة التشبع Zone of permanent saturation وتلى المنطقتين السابقتين . وفيها تكون جميع الشقوق والمسام مليئة بالماء بصفة دائمة . والمنح السائد هو الذي يحدد مدى قرب أو منسوب المياه من سطح الأرض . فيكون أقرب للسطح في الأماكن الرطبة دائمة المطر عنه في الأماكن الجافة قليلة المطر كما أن وجود نهر أو بحيرة قريبة يؤدي إلى رفع هذا المنسوب .

وحركة المياه داخل القشرة الأرضية يتحكم فيها عوامل كثيرة مثل الميل العام للطبقات والتراكيب الجيولوجية المختلفة كالثنيات والتوالت هذا إلى جانب بعض صفات الصخور الحاملة للمياه والتي نوجزها فيما يلي :

مسامية الصخور Porosity

المصخور المسامية هي التي تحتوى على فراغات وفجوات بين حبيباتها ويعبر عن مسامية الصخر بالنسبة المئوية لحجم الفراغات إلى الحجم الكلى للصخر :

$$\text{مسامية الصخر} = \frac{\text{حجم الفراغات الموجودة في الصخر} \times 100}{\text{الحجم الكلى للصخر}}$$

فالطين مثلاً تصل مساميته إلى ٥٠٪ والحجر الطباشيرى والرمل والحصى من ٢٠ - ٤٧٪ أما الصخور الجيرية فتتراوح مساميتهما من ٥ - ٢٠٪ ولكن الصخور النارية والمتخولة أقل الصخور مسامية .

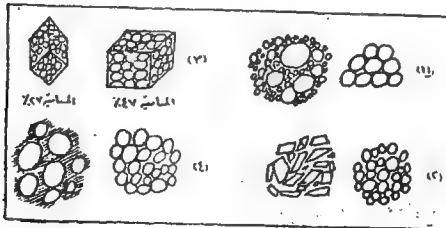
وقد تكون مسامية الصخر أولية Primary porosity حيث تكون مرتبطة بمراحل تكون الصخر نفسه . أما المسامية الثانوية Secondary porosity فهي التي تنشأ في الصخر بعد تكونه كنتيجة لمرضه لبعض العوامل الخارجية مثل الشقوق والتواصل التي تتكون في بعض الصخور النارية والتي هي أصلاً

غير مسامية . ويطلق على الصخور في هذه الحالة لفظ صخور ممجرة
Pervious rocks . حيث أن الماء لا يمر خلال الصخر نفسه بين حبيباته
بل يمر خلال هذه الشقوق والفواصل .

وتعتمد مسامية الصخر على عدة عوامل منها :

١ - حجم الحبيبات ومدى تصنيفها Size of grains and degree of sorting
كلما زادت درجة تصنيف حبيبات الصخر بمعنى تساوت أو تقاربت في الحجم
زادت المسامية . في حين أن الصخور رديئة التصنيف أى المتفاوتة في الحجم
تقل فيها المسامية . حيث تعمل الحبيبات الصغيرة على ملء الفراغات بين
الحبيبات الكبيرة شكل ١٠٩

٢ - شكل الحبيبات ودرجة تكورها Shape of grains استعداداً
الحبيبات وتكورها يزيد من مسامية الصخر . أما إذا كانت الحبيبات حادة
الزوايا فإن الزوايا الحادة تعمل على ملء الفراغات بين الحبيبات الأخرى وتقلل
من المسامية .



(شكل ١٠٧) أمثلة للمسامية على طريقة رسم الحبيبات في الرواسب المتحجرة

٣ — طريقة رص الحبيبات Manner of packing :

تقل المسامية أو تزداد تبعاً لطريقة رص الحبيبات فإذا كان الرص مكتمل الشكل كانت المسامية حوالي ٤٧٪ . أما إذا كان الرص معيّن الشكل كانت المسامية حوالي ٣٦٪ . وتعتمد طريقة الرص على الضغط الواقع على الصخر في مراحل تكوينه .

٤ — درجة تماسك الصخر degree of cementation :

إذا تماسكت حبيبات الصخر نتيجة لترسيب مادة لاحمة مثل أكسيد الحديد أو السليكا أو كربونات الكالسيوم بين الحبيبات قلت المسامية .

٥ — النفاذية Permeability

وهي مقدرة الصخر على إقناذ وامرار السوائل خلال مسامه ويمكن أن تكون مسامية الصخر غالبية في حين أن نفاذيته صغيرة مثل الطين حين يمتزج الماء في مسامية الدقيقة ويحتفظ به بواسطة الخاصية الشعرية . وعلى النقيض من ذلك فالصخور الرملية مساميتها صغيرة نسبياً (٥-٢٠٪) ولكن نفاذيتها كبيرة جداً نظراً لكون حجم الحبيبات مما يسمح بمرور الماء بينها بسهولة .
ومما سبق يتضح أنه يمكن تقسيم الصخور بالنسبة لدراسة المياه الأرضية إلى أربعة أنواع حسب درجة مساميتها ونفاذيتها .

١ — صخور مسامية منفذة Porous and permeable مثل الصخور الرملية

٢ — صخور مسامية غير منفذة Porous and impermeable مثل الطين .

٣ — صخور غير مسامية عمرة Non-porous and pervious مثل الصخور

التي تكونت نتيجة لعمليات التآكل .

٤ — مخزور غير مسامية وغير منفذ Non-porous and non-pervious
مثل الصخور النارية الغير محتوية على شقوق وفواصل .
فالتنوع الأول والثالث من هذه الأنواع الأربعة هو الذى يسمح بحرية
تحرك المياه ويسمى بالصخر الخازن Reservoir rock وهو أيضا مهم من ناحية
دراسة التجمعات البترولية .

مصدر المياه الجوفية :

فمثل هذه المياه إلى الاتجاه دائما إلى أسفل بتأثير الجاذبية . ولكن هناك
عوامل قد تؤدي إلى خروج المياه الجوفية إلى سطح الأرض . طبيعيا دون
دخل للإنسان فيه عن طريق الينابيع أو العيون . أو آليا بطريق الحفر عن
طريق الآبار .

الينابيع والعيون Springs

تحتوى مياه الينابيع على نسبة عالية من الأملاح قد تصل إلى ثلاثة أمثال
المياه العادية المستخدمة من الأنهار والبحيرات وهناك العديد من أنواع الينابيع
والعيون ويعتمد تقسيمها على :

١ - قوة ينبوع بالنسبة لقوة خروج الماء

٢ - نوع الصخر الخازن للماء

٣ - التركيب الكيميائى لمياه الينابيع

٤ - درجة حرارة المياه

٥ - اتجاه حركة المياه

٦ - العلاقة بين الينابيع وطبوغرافية المنطقة

٧ - التركيب الجيولوجى المسبب للينابيع

وتختلف الينابيع والعيون عن النشوع المائية أو الرشج المائي في أن الينابيع والعيون تندفق منها المياه الجوفية بدرجة تجعلها تندفع في - كل قنوات صغيره . أما النشوع المائية فتندفق المياه لا يكون بدرجة كبيرة : وقد يستمر تدفق المياه من الينبوع مئات السنين وليس معنى هذا التدفق المستمر وجود مخزون لا ينضب ولكن للتغذية الكبيرة التي يتمتع بها الصخر الحامل للمياه الجوفية ولوجود مساحة كبيرة معرضه للإمداد المستمر للماء من مصادره السطحية . وفيما يلي أنواع الينابيع المتكونة والناجمة من وجود تراكيب جيولوجية ملائمة أو ظروف طبوغرافية مناسبة شكل (١٠٢)

١ - ينابيع الوادي Valley spring

ويتبع هذا النوع من الينابيع عندما يكون منسوب المياه الجوفية في منطقة أعلى من منسوب سطح الأرض .

٢ - ينابيع صدعي Fault spring

وذلك عندما تصادف المياه الأرضية فائق فتصعد إلى أعلى متخذة سطح الفائق متغذاً لها خصوصاً إذا أدى الفائق إلى تجاور طبقة غير منفذة مع الطبقة المنفذة الحاملة للمياه الأرضية وأيضاً فإن وجود سد من الصخور النارية قد يؤدي إلى وقف الحركة الأفقية للمياه الأرضية فتصعد إلى أعلى عن طريق الحد الفاصل بين السد الناري والصخور المجاورة .

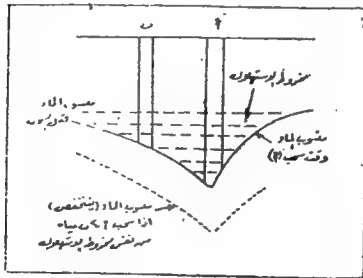
وهناك أنواع من الينابيع تسمى بأسماء الأملاح الذائبة أو المتركة بها مثل عيون حلوان الكبريتية . وغالباً ما تستخدم مثل تلك العيون في أغراض العلاج . وعند تكون درجة حرارة مياه بعض الينابيع مرتفعة وتسمى الينابيع

الآبار wells

وهي الحفر التي يصنعها الإنسان لاستخراج المياه الجوفية من خزائنها في المنطقة المشبعة تحت منسوب المياه الجوفية . وهناك نوعين من هذه الآبار :

١ - آبار اعتيادية : Ordinary wells

وهي التي تستخدم فيها المضخات لرفع الماء من الصخر الخازن إلى سطح الأرض وذلك نظراً لضعف الضغط الواقع على الماء وباستمرار السحب ينخفض منسوب المياه في المنطقة ويكون ما يسمى بمخروط استهلاك البئر . شكل (١٠٣)
ويستمر منسوب المياه في الانخفاض تدريجياً وتقل كمية المياه في البئر . ولا استمرار السحب يلزم تعميق البئر وحفر آبار متباعدة .

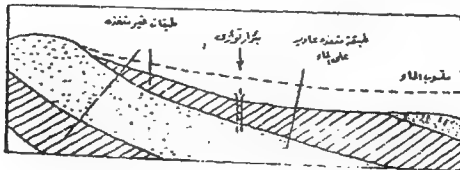


مياه الآبار عن مياه الينابيع في أن الأولى تندفع بعد حفر البئر أما الثانية فتندفق طبيعياً .

المياه الجوفية في جمهورية مصر العربية :

يتخذ نهر النيل مصدراً أساسياً للمياه الجوفية في مناطق مصر حول نهر النيل والدلتا والصحراء إلى جانب مياه الأمطار الموسمية والسيول وتخرج تلك المياه الجوفية على هيئة عيون ونباتات منتشرة في منطقة سيناء مثل عيون موسى والعين السخنة قرب مدينة السويس وهو ينبوع فالح وعيون حلوان قرب القاهرة وفي منطقة الواحات . ومعظم المياه الجوفية تخرج بعد حفر آبار إحيائية كمنكك التي تحفر في المناطق الممتدة حول وادي النيل وفي الدلتا وفي الصحراء الشرقية وأغلب مياهها مالحة غير صالحة للشرب والرى نظراً لما تذييه من أملاح بعد مروها على صخور جيرية وملحية .

وتوجد تلك المياه في تركيبات عدسية من العجبر الرملى والطيني حول وادي النيل ويتغير منسوب المياه فيها في فصول السنة المختلفة بتغير منسوب المياه في نهر النيل نفسه وفي الصحراء الغربية وفي منطقة الواحات تكون المياه الجوفية مخزونة في حجر رملى يسمى العجبر الرملى التوفى يملؤه طبقات طينية



(شكل ١-٤)

وجيرة من المعسر الطاشيرى والعصر الايوسينى وبجمل أجزاء منه تنسج
الحجر الطينى الغير منفذ فتكون المياه الجوفية مقيدة ومن مميزات الحجر الرملى
التوى أنه على المسامية ويميل بزاوية ٦٥° إلى الشمال ومن المحتمل أن يكون
مصدر تلك المياه الجوفية هو الأمطار الغزيرة فى المنطقة الأسعوائية جنوباً
حيث تهاجر وتتحرك تلك المياه من الجنوب إلى الشمال وعند حفر الآبار
الأرتوازية تندفع المياه نظراً لأن مناطق الواحات فى الصحراء الغربية منخفضة
من مستوى منسوب المياه الجوفية فى تلك المناطق .

وفى شمال جمهورية مصر على السواحل كما فى منطقة مرسى مطروح وغيرها
تطفو المياه العذبة فوق المياه العالية اللوحة المتسربة من رشح ماء البحر الذى
يتغلغل الصخور المنفذة . ومصدر المياه العذبة هو المطر والسيول الذى يسقط
بغزارة فى فصل الشتاء على تلك المناطق وكلما ارتفعت المنطقة عن سطح البحر
كلما زاد سمك الماء العذب فى المنطقة وهناك العديد من الآبار التى حفرت منذ
عهد الرومان على المناطق المرتفعة والتلال . أما العيون الموجودة فى الصحراء
الشرقية وسيناء مثل عين الجديرات والعين السخنة فتقع فى وديان منخفضة
تعتمد مياهها من خزانات مصدر مياه الأمطار وتخزن فى صخور نارية
متشققة وبها نسبة من الأملاح مما يجعلها غير مقبولة كماء للشرب .

وأيا كان مصدر المياه يتايىح كانت أم آبار اعتيادية أو أرتوازية فهو
أساسى لحياة البدو كماء شرب وبرى وزراعة وصناعة لسكان الصحراء وزوار
تلك المناطق من العاملين والجيولوجيين والسائحين .

العمليات الداخلية

Hypogene action or Internal Processes

تقديم :

تعرضنا فيما سبق من الكلام عن العمليات الخارجية التي تؤثر على سطح القشرة الأرضية وتؤدي إلى التغيرات المستمرة في هذا السطح من تكسّر وتفكك وتحلل ونقل وقرسب وحن الوقت الآن حتى نتكلم عن الجزء الآخر من العمليات التي تؤدي إلى تغيير سطح القشرة الأرضية أيضاً ولكن نتيجة لما يحدث في الداخل أو بمعنى آخر فإن العمليات الخارجية تستمد الطاقة اللازمة لها من الإشعاع الحراري للشمس أما العمليات الداخلية فمصدر طاقتها هي تلك الحرارة الهائلة والكامنة في جوف الأرض والمتكوّنة أساساً من الصهير والموجود على حالة سائلة منذ انفصلت الأرض عن الشمس .

والدراسات المختلفة على أصل هذه العمليات ، عما إذا كانت نتيجة للتبريد الذي يحدث للأرض منذ إنفصالها عن الشمس ومن ثم انكماشها نتيجة لهذا التبريد والذي يؤدي إلى التجاعيد والإثناءات المختلفة على سطح القشرة الأرضية أو عما إذا كان نتيجة لزيادة الحرارة الناتجة من وجود العناصر المشعة في جوف الأرض والتي تصبح مصدراً هائلاً للطاقة الحرارية ومن ثم اتحدت نتيجة لهذا التحسين المستمر وبالتالي تنشأ التجاعيد والإثناءات . وما يعنينا من هذه النظرية أو تلك هو أن سطح الأرض يتغير بصفة مستمرة أو بأخرى لتغير حالة الإزّان الموجودة في القشرة الأرضية وعلى هذا تحدث بعض الظواهر المعروفة لدينا جميعاً وهي الزلازل والإزّكين والحركات الأرضية .

وسنحاول أن ندرس كل هذه الظواهر بشيء من التفصيل حتى نقف على

تأثير كل منها على سطح الأرض

الحركات الأرضية

وتنقسم الحركات الأرضية إلى نوعين أساسيين :-

١- الحركات السريعة : وهى التى تحدث فى وقت إقصير ويشعر بها الإنسان أو يرى آثارها الملموسة كالزلازل .

ب- الحركات البطيئة : وتتم فى زمن طويل جداً بحيث لا يشعر بها الإنسان ولكن من واقع الدراسة تقف على آثارها وما أدت إليه من تغيرات فى سطح الأرض كالحركات البانية للجبال والقارات .

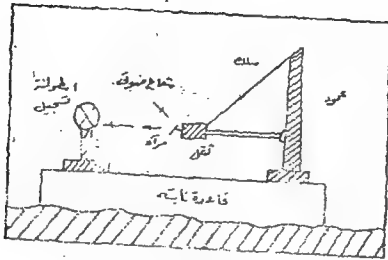
١- الحركات السريعة :

الزلازل Earthquakes :

تعريف :- وهى اضطرابات ناجمة من أما انفجارات بركانية وتسمى حينئذ زلازل بركانية أو نتيجة لشوّهات أو تبدلات للقشرة الأرضية وتعرف باسم الزلازل التكتونية Tectonic Earthquakes والنوع الأخير هو الأكثر إنتشاراً كما أنه معروف بإحداث الحراب والكوارث .

والزلازل منها ما هو قوى وما هو ضعيف لا يحدث اضطراباً كبيراً فى القشرة الأرضية كما أن موجاتها لا تكون ذات عمق فى جوف الأرض .

وعند حدوث أى زلزال فى منطقة من المناطق فإنه يكون أقوى ما يمكن فى منطقة المركز أى المنطقة التى تقع فوق البركان أو الصدع أو الإنهيار مباشرة أما خارج هذه المنطقة فتضعف شدة الزلزال ويمكن تحديد مناطق دائرية ككتافات أو أحزمة حول المركز تتساوى فيها شدة الزلزال وتعرف بخطوط أو حزام الزلزلة المتساوية الشدة .



شكل (١٥)

السيزموجراف : Seismograph

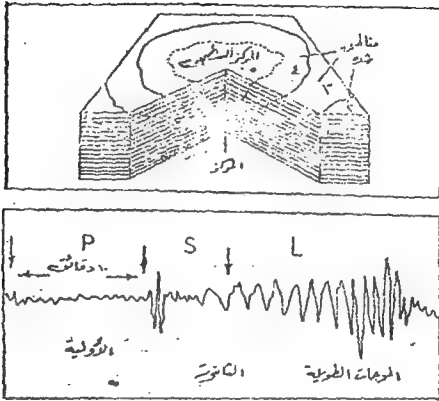
والسيزموجراف هو عبارة عن الجهاز الذي يسجل أو يرصد الزلازل في منطقة معينة وكما في الشكل (١٥) يتركب السيزموجراف من قائم رأسي مثبت بإحكام في قاعدة وتند من القائم ذراع أفقية يتدلى منها ثقل معلق في زمبرك مثبت به قلم يمس طرف ورقة مثبتة على أسطوانة تدور حول محور رأسي . فعندما تكون القشرة الأرضية في حالة ثبات أو استقرار فإن القلم يسجل خطاً مستقيماً على الورقة المثبتة في الأسطوانة أما إذا اهتزت القشرة الأرضية فإن الأسطوانة تهتز بالتالي ويسجل القلم خطاً متموجاً يزداد مقدار تموجيه أو يقل تبعاً لشدة الزلزال أو الميزة الأرضية . وهذا الخط المتعرج يعرف

باسم السيزموجراف (Seismogram) كما في الشكل (١٦)

ويمكن تمييز ثلاثة أنواع من الموجات في السيزموجرام كما يلي :-

١ - الموجات الابتدائية : وهي أسرع الموجات وتعتبر عن الموجات

التضاغطية أي أنها تعتبر عن جسيمات تتذبذب في نفس اتجاه سريان الموجة.



شكل (١٠٦)

٢ - الموجات الثانوية : وهي أقل سرعة ومستعرضة بمعنى أن ذبذبة الجسيمات تكون عمودية على اتجاه سريان الموجة .

٣ - الموجات الطولية : وهي التي تنتقل خلال القشرة الأرضية بالإتمكاس على سطحها العلوي والسفلي ولها مسار متعرج ولذلك تصل إلى محطات الرصد متأخرة .

ولقد أمكن إيجاد علاقة بين وقت وصول الموجات المختلفة إلى محطات الرصد وبعد هذه الموجات عن منطقة مركز الزلزال وعلى ذلك فإنه يمكن حساب مسافة بعد مصدر الزلزال من قراءات السيزموجراف .

وقد يكون مركز الزلازل تحت سطح البحر فتتأهب مياه موجات جزر شديدة جدا تكسح الشواطئ. لمسافات بعيدة مثل ما حدث بالقرب من جزيرة جاوه عام ١٨٨٣ فلقد قذفت الأمواج بباخرة داخل الغابات المحيطة بالشاطئ. وعلى بعد أربعة كيلو مترات منه .

ومن الجدير بالذكر أن سرعة سريان الزلازل أو الهزات الأرضية تختلف باختلاف نوع الصخور فهي حوالى ٣٠٠ م / ثا / ثانية فى الرمال المفككة نينا تبلغ ٣ كم / ثانية فى الجرانيت .

أسباب حدوث الزلازل :

وأسباب حدوث الزلازل عديدة نذكر منها ما يلى :-

١ — سقوط الكهوف فى طبقات الحجر الجيري مما يتسبب عنه تصدع بالصخور ومن ثم هزات أرضية .

٢ — التفاعلات البركانية فى فترة النشاط البركانى وما يصاحبها من هزات أرضية متلاحقة فى مناطق واسعة تحيط بمكان البركان وليس معنى هذا أن كل الهزات الأرضية تحدث نتيجة للتفاعلات البركانية أو خروج الحمم من البراكين فهناك مناطق كثيرة تحدث بها زلازل وهى بعيدة كل البعد عن البراكين .

٣ — تقلصات القشرة الأرضية وما يتسبب عنها من انثناءات وتصدعات خاصة فى المناطق المتجاونة التضاريس أى فى مناطق سلاسل الجبال العظمى .

٤ — حدوث التواءات الكبيرة كما سبق أن أشرنا مما يجعل القشرة الأرضية فى حالة عدم توازن حيث يؤدى انزلاق أو هبوط أجزاء كبيرة من سطح الأرض إلى عدم الاستقرار .

التوزيع الجغرافي للزلازل :-

هناك مناطق عديدة تحدث فيها زلازل وبشعرها الناس إلا أنه وجد أن ثمة منطقتين رئيسيتين يغلب فيها حدوث الزلازل العنيفة أحدهما تحيط بالمحيط الهادئ والأخرى تمتد من شواطئ البحر الأبيض المتوسط للشمالية مارة بسلسلة جبال الألب والقوقاز والهمالايا شرقاً ممتدة إلى جزر الهند الشرقية وتعرف هذه المناطق بأنها غير مستقرة حيث لم تبلغ بعد حالة الثبات ودائمة التعرض للتصدع والانفلاق شكل (١٠٧ ب)



شكل (١٠٧ ب)

فوائد الزلازل :-

تعتبر التسجيلات الزلزالية أو دراسة البرموجراف هي الوسيلة الوحيدة المعروفة للان معرفة التراكيب الداخلية للأرض . فكما ذكرنا أن سرعة الموجات الزلزالية تختلف باختلاف نوع الصخور ومن ثم فإنه من الممكن معرفة أنواع الصخور المختلفة الموجودة في باطن الأرض بدراسة سرعة انتشار الموجات الزلزالية المختلفة .

ولقد أدت هذه الدراسة إلى ترتيب الأقاليم العنصرية بالعبارة الآتية :-

- | النوع | العمق |
|---------|---|
| ١٠ - | كيلو مترا صخور رسوية |
| ١٠ - ١٥ | كيلو مترا صخور جرانيتية - القشرة الأرضية (Sial) |
| ٢٠ - ٣٠ | كيلو مترا صخور بازلتية |
| ٢٨٥٠ - | كيلو مترا صخور فوق قاعدية (بريدوتيت) السيم (Sima) |
| ٣٥٠٠ - | كيلو مترا لب الأرض (Core) |

ب - الحركات البطيئة :-

وهي كما سبق لنا تعريفها أنها الحركات الأرضية التي تحدث في بطء شديد وعلى مدى أزمان جيولوجية متعاقبة بحيث أن علواتها أو آثارها تعرف للإنسان من واقع الدراسة المختلفة مثل :-

(١) وجود آثار لمخطوط شواطئ قديمة موجودة الآن داخل القارات المختلفة .

(٢) الشواطئ المرفوعة Raised beaches والتي تدل على حركات أرضية رافعة رفعت هذه المناطق الآن والتي كانت قديما شواطئ بحار .

(٣) وجود الطبقات المحتوية على حفريات بحرية في داخل القارات الآن مما يدل على ترسيب هذه الطبقات تحت سطح البحر في وقت من الأوقات وانحصر عنها الآن ... الخ .

أنواع الحركات البطيئة :-

وتقسم الحركات البطيئة إلى نوعين أساسيين تبعاً لنوعها وما تحدثه من تغيير لسطح القشرة الأرضية .

١ - الحركات البانية للجبال Orogenic movements

وهي حركات أفقية الاتجاه وتسبب في تجمد وانثناء القشرة الأرضية وجعلها على هيئة جبال كما تنتج عنها التراكيب الجيولوجية المختلفة التي أشرنا إليها في باب سابق (التراكيب الجيولوجية) مثل الطيات والصدع . . الخ .

ب - الحركات البانية للجبال Epeirogenic movements

وهي حركات رأسية الاتجاه وتسبب في رفع الأرض إلى أعلى أو انخفاضها إلى أسفل مما يؤدي إلى تكوين قارات جديدة أو إزالة قارات قديمة ولا يصاحبها أى تصدع أو طيات .

أسباب الحركات الأرضية البطيئة :-

تعددت النظريات في تفسير أسباب هذه الحركات الأرضية البطيئة ومن أهم النظريات التي ذكرت في هذا الصدد ما يلي :-

١ - نظرية انكماش الأرض بالبرودة :-

وتتلخص فكرة هذه النظرية أن التجمدات والانثناءات التي تحدث على سطح الأرض والمؤدية إلى تكون الجبال إنما هي نتيجة لانكماش جوف الأرض الذي يبرد بصفة مستمرة نتيجة لمرور الوقت منذ انقعال الأرض عن الشمس . وأنه لا بد من أن يتغير سطح الأرض ليلائم هذا الانكماش المستمر لجوف الأرض . وقامت دراسات عديدة في هذا الشأن إلا أن القيمة المحسوبة لهذا الانكماش اختلفت عن القيمة المقدرة وبهذا اندثرت تلك النظرية والتي كانت من أولى أو أقدم النظريات التي وضعت لتفسر هذه الحركات الأرضية البطيئة .

٢ - نظرية توازن القشرة الأرضية :-

وتنص هذه النظرية على ضرورة إنتران جميع أجزاء القشرة الأرضية بمعنى أن تكون الصخور المكونة للجبال من مواد أخف من تلك التي تكون السهول وقاع المحيطات والبحار ويعرف هذا النوع من الاتزان بالتوازن الاستاتيكي ولقد أوضحت دراسات السيزموجراف صحة هذه النظرية بالإضافة إلى التجارب العملية والتي تذكر منها هذه التجربة :-

عند إحضار إنائين مملوءين بالزئبق ووضعنا في الإناء الأول كتلا معدنية من مواد تختلف في كثافتها ولكنها متساوية في الوزن والمقطع وفي الإناء الثاني كتلا من مادة النحاس مثلا (ذو كثافة واحدة) ولكنها مختلفة في الأوزان والأطوال فتجد أن الكتل المعدنية في الإناء الأول ستغوص في الزئبق بنفس العمق أما في الإناء الثاني فتجد أن الأعمدة ستغوص كل منها بما يتناسب مع طوله فالكتلة الطويلة ستغوص أكثر من القصيرة وهكذا .

وبما أن الصخور الأساسية في القارات عموما تتكون من صخور الجرانيت وفي قاع البحار والمحيطات من صخور البازلت فلا بد وأن تكون طبوغرافية الأرض تعتمد اعتمادا كبيرا على توازن الكتل القارية الجرانيتية مع الكتل البحرية البازلتية والتي تكون الأولى دائما على ارتفاعات أعلى .

٣ - نظرية ترحل القارات Continental drift

وهي النظرية التي وضعها العالم الألماني فجنر (Wegener) وملخصها أن الاضطراب المستمر في توازن القشرة الأرضية ومن ثم بناء الجبال إنما يرجع إلى أن الكتل القارية ليست ثابتة في أماكنها على صخور الجيولوجية وإنما قد حلت ترحل مستمر في اتجاهات معينة مما يؤدي إلى احتكاك بين الكتل

القشرية الصلبة وما ترسو عليه من مادة داخلية تنوص فيها . ولهذا النظرية تشجيع كبير لما دلت عليه الدراسات المختلفة وخاصة دراسة الحفرات على شاطئ المحيط الاطلسى الشرقى والغربى شكل (١٠٧ ح) .

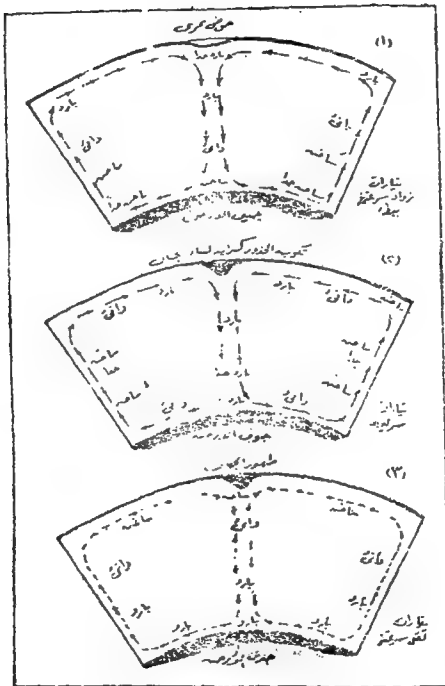


شكل (١٠٧ ب)

٤ - نظرية تيارات الحمل :
Convection current theory

دلت الدراسات المختلفة على وجود كميات من المواد المشعة في منطقة ما تحت القشرة الأرضية . وأن هذه المواد المشعة تنفذ طاقة حرارية

هائلة تجعل صخور هذه المنطقة في حالة ما بين الصلابة والسيولة «Plastic state» ومن ثم تنشأ تيارات في هذه المناطق تشبه تيارات الحمل المعروفة في السوائل الساخنة . كما في الشكل (١٠٨) الموضح ونتيجة لقوى الاحتكاك والشد عند مواضع صعود هذه التيارات بالإضافة إلى قوى الجذب الاحتكاكي عن مواقع ميوط هذه التيارات تضطرب القشرة الأرضية مما يؤدي إلى تجمعها على هيئة جبال عالية تنوص في منطقة ما تحت القشرة الأرضية مكونة جذور تدعى جبال



شکل (۱-۸)

النشاط البركاني Volcanic activity

وتعرف جميع الظواهر التي تصاحب اندفاع المواد الصهريه من باطن الأرض إلى سطحها أو بالقرب منه بالنشاط البركاني . والبركان في تعريفه ماهو إلا حافة اتصال بين الصهير الموجود في باطن الأرض و سطح الأرض فإذا نجت هذه المواد الصهيرية في الوصول إلى سطح الأرض فانها تسمى بالفتح أو اللوا Lava وعند صعودها تتصلد على السطح نتيجة للبرودة المفاجئة مكونة ما يسمى بالصخور الطيحية وقد سبق الكلام عنها في باب الصخور . وهناك طريقان رئيسيان لاندلاع هذه المواد الصهيرية من باطن الأرض وهما :

١ - طريق البراكين المركزية Central volcanoes .

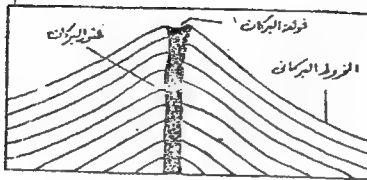
وهي عبارة عن البراكين ذات المخروط وقمع الفوهة .

٢ - طريق انبثاقات الشقوق Fissure Eruptions

وهي براكين غير حنيفة أو لا يصحبها عادة انفجارات ويخرج منها كيات هائلة من اللافا عن طريق الشقوق العميقة جدا في القشرة الأرضية . وهي أقل انتشارا من البراكين المركزية .

البراكين : Volcrees

تخرج الحمم والمواد الصهيرية والمعدنية الموجودة في جوف الأرض إلى السطح عن طريق فوهات البراكين ويتركب البركان شكل (١٠٩) من فوهة Crater وهي الفتحة التي تندلع منها الحمم البركانية والقنصة البركانية وهي المجرى الذي يصل بين جوف الأرض و سطحها وتكون عادة أسطوانية الشكل والمخروط البركاني وهو الشكل المخروطي الذي تصنع المواد الضهورة



شكل (١٠٩)

البراكين حول فوهة البركان ويشبه الجبل وقد يصل ارتفاعه إلى ستة كيلومترات مثل بركان كونا باكس Cotapaxic بجبال الانديز في جنوب أمريكا وبرانكان اتنا Etna بجزيرة صقلية والذي يرتفع حوالي ٣ كيلومترا من سطح البحر .

والبراكين منها ما هو دائم مثل بركان سترومبولي Stromboli بالجزر الإيطالية إذ تنبعث من فوهته الحمم المصهورة كل دقيقتين تقريبا ومنها ما هو منقطع النشاط ينور في فترات غير منتظمة أو متقطعة هذا بالإضافة إلى أن كثيرا منها خامد .

وتسبق ثورة البركان عادة ظواهر منها اهتزاز القشرة الأرضية وتشققاتها ثم انبعاث البخار ودخان مصحوبة بأصوات شديدة تشبه قصف المدافع الضخمة ثم يلي ذلك خروج الحمم والمنصهرات المعدنية وتنفذ تلك المنصهرات إلى أعلى بارتفاعات مختلفة تعتمد على قوة البركان نفسه أو تسيل تلك المنصهرات من فوهة البركان وتتراكم حولها أو قد تسيل إلى مسافات بعيدة تبعا للزوجة المواد المنبثقة .

نواتج البراكين : Volcanic products

وتشتمل نواتج البراكين على صورة المادة المختلفة فهي إما غازية أو صلبة أو سائلة ومن أهم النواتج الغازية هو بخار الماء بكميات ضخمة جداً والذي يقذف لارتفاعات شاهقة مصحوباً عادة مع الغبار أو الرماد البركاني .
هنا بالإضافة إلي الغازات الأخرى مثل ك H_2 ، يد كل ، يد ف ، يد CO_2 وتعزي الانفجارات التي تصاحب ثورات البراكين دائماً إلى اتحاد الغازات المختلفة والتي تحدث فرقة مثل اختلاط الأوكسجين والهيدروجين كما أن هناك بعض البراكين تقذف الغازات الكهربائية مثل يد K_2 ، كب ل Ca .

أما الماء واللافا Lava فهما أهم المكونات السائلة للبراكين المختلفة .
وتسيل اللافا على جانبي فوهة البركان إلى مسافات تختلف أطوالها باختلاف مكونات اللافا . فاللافا القاعدية تكون أقل لزوجة من الحامضية التركيب وبالتالي فإنها تسيل لمسافات أطول بينما تتكوم الأخيرة .

وتبلغ سرعة حركة الحمم حوالي ٣٠ كم / ساعة ولكنها سرعان ما تبرد بتعرضها لحرارة الجو العادي فتتحول إلى عجيبة لزجة بظينة الحركة وقد تبلغ درجة حرارة بعض الحمم وقت إندلاعها من فوهة البركان إلي حوالي ألف درجة مئوية .

وهناك ظواهر أخرى شبيهة بالبراكين ، بل ويطلق عليها بعض الدراسات
براكين أيضا مثل :-

١ - البراكين الطينية Mud Volcanoes

وهي تلك المنبثات الطينية التركيب والتي تنبعث من باطن الأرض مصحوبة
بغازات كربونية أو هيدروكربونية ويكثر وجودها قرب حقول البترول
مثل منطقة باكو على بحر قزوين بالاتحاد السوفيتي ومصدرها تلك الغازات
المنبثقة من زيت البترول عندما تكتسح معها بعض المياه الجوفية الهائلة
بالرواسب الطينية وتظهر على هيئة نافورة من المياه الطينية .

٢ - الفوارات الحارة Fumeroles

وتشبه أيضا نافورات المياه وهي تذف مياهها الحارة في فترات متعظمة
وأغلبها يكون مصحوبا بمواد سيليسية أو مواد جيرية سرمان ما تنرسب
حول فوهاتها .

٣ - العيون الحارة Hot springs

وهي عيون المياه الجوفية والتي تندفع من باطن الأرض وذات درجة
حرارة مرتفعة وأحيانا تكون مشبعة بمواد معدنية مثل الكبريت أو الأملاح
الأخرى وتندفع عن طريق الشقوق أو أبطح القوالب المختلفة وقد يكون
اندفاع المياه فيها قويا فتصيح فوارات غارة .

ومن الجدير بالذكر أن عدد البراكين على سطح الأرض يقدر بحوالي
٣٠٠٠ بركان وهي على درجات متفاوتة من النشاط .

التوزيع الجغرافي للبراكين :

— وتتركز البراكين في العالم على حواف المناطق الهابطة هبوطاً شديداً
كأحواض البحار والمحيطات أو في تلك المناطق الضعيفة والمعروفة بكثرة
وجود التصدعات والفتولق .

وتتوزع البراكين حول حوض البحر الأبيض المتوسط ومنها براكين
فيزوف Vesuvius واثنا Etna وسترومبولي Stromboli وبعض البراكين
الموجودة تحت مياه البحر عند جزر سانتوريون Santorian اليونانية وفي
المحيط الاطلسي بجزيرة القديسة هيلانة وجزر الكناريا Canary islands
وأيسلنده .

أما حول المحيط الهادئ فتوجد البراكين بكثرة في جبال الانديز بأمريكا
الجنوبية والمكسيك وفي الاسكا وكوريل وفي اليابان وجاوه شكل (١١٠) .
وهناك مئات من البراكين التي أصبحت الآن خامدة منذ مئات السنين
ولكنها تركت آثارها كوجود الحمم والرماد البركاني .



أسباب حدوث البراكين :-

وهناك أسباب عديدة لحدوث البراكين ذكرنا بعضها في سياق الحديث عن النشاط البركاني بالإضافة إلى الاعتقاد السائد بأن تسرب مياه البحر إلى داخل الكرة الأرضية وتبخره عند وصوله إلى درجات الحرارة العليا تتج منه وجود ضغط هائل يسبب انفجارا في القشرة الأرضية خاصة في أماكن الضعف أي الفوالق والتشققات ... الخ .

أما للنظريات الأخرى تفسير حدوث البراكين فتتلخص في أرجاعها إلى التفاعلات الكيميائية المختلفة التي تحدث في جوف الأرض والتي تتج عنها مركبات غازية تتج ضغطا هائلا يؤدي إلى عدم استقرار القشرة الأرضية وبالتالي تعدد وانفلاقها ومن ثم اندفاع ما في الجوف من مواد صهريية تقع تحت هذا الضغط الهائل ولو أنه حديثا جداً بدأ النظر إلى ما يعرف بالمواد الاشعاعية الموجودة في جوف الأرض وما يمكن أن يكون لها من تأثير على إنتاج طاقات هائلة تسبب في إندلاع المواد الصهريية في صورة ثورات

الجيولوجيا التاريخية Historical Geology

الجيولوجيا التاريخية هو أحد فروع علم الجيولوجيا الذي يتم بدراسة تاريخ الأرض والتغيرات والحوادث التي مرت عليها منذ نشأتها حتى يومنا هذا. وتشمل الجيولوجيا التاريخية بجانب دراسة الصخور، دراسة بقايا الكائنات الحية من حيوان ونبات (المفريات) وما يحدث فيها من تطور، ودراسة التراكيب الجيولوجية والتوزيع الجغرافي للبحار والفجارات وكذلك العوامل الداخلية والخارجية المؤثرة على القشرة الأرضية.

ولكل عصر مميزات وملاحظاته الخاصة من الناحية الجيولوجية من حيث طبيعة صخوره والتراكيب المتواجدة عليها تلك الصخور ومن هذه الصفات ما يمكننا من التعرف على ظروف البيئة الترسيبية القديمة التي سادت أثناء تكوينه، فنلنا:

وجود طبقات من 'حجر جيري' المعنوي والذي يحتوي على بقايا حفريات وأصداف لحيوانات بحرية تدعى على الترسب في بيئة بحرية. أما صخور الكونجلوميرات وهي صخور رسوبية ذات حبيبات خشنة ومستديرة فإنها تدل على وجود بيئة شاطئية للترسيب. أما الرماد البركاني فيدل وجوده على نشاط بركاني سابق أدى إلى تكوينه. والرواسب الملحية تدل على وجود بحار مغلقة ساد بها البحر الشديد. أما وجود الرواسب التلحيمية فيدل على بيئة المستنقعات التي سادت فيها النباتات والأشجار.

ويمكن التعرف على المناخ في الأزمنة النائية من بعض المشاهدات الحقلية

مثل: وجود التشققات الجليدية التي تدل على المناخ الجاف والشديد الحرارة؛

أما وجود النقوب الصغيرة على سطح الصخور والمبيلة « بنمار الأمطار » فإنه يدل على البيئة المناخية الممطرة .

ومن الصخور الرسوبية ما يحتوى على حفريات لكل منها الظروف البيئية اللازمة لمعيشتها . ومنها ما هو محدود العمر الجيولوجى ، وعلى ذلك فمن الحفريات يمكن التعرف على بيئة الترسيب القديمة وتاريخ وأعمار هذه الصخور الرسوبية الحاوية لتلك الحفريات .

ومن التراكيب الجيولوجية التي تتواجد في منطقة ما يستدل منه على الظروف التي تعرضت لها تلك الصخور بعد ترسيبها وظهورها على سطح البحر فتلا : وجود الطبقات المتقاطعة *Cross bedding* في الأحجار الرملية يدل دلالة قاطعة على تأثير التيارات البحرية وكذلك علامات التمازج بأنواعها .

وبدل عدم التوافق على توقف الترسيب في فترة زمنية معينة . أما وجود الطيات (الثنيات) والقنوات والتواصل (التراكيب الثانوية) فإنه يؤكد حدوث حركات أرضية وما فيها من ضغط وشد على الطبقات الرسوبية مما يعرضها للطى وقد تنكسر .

وقد توصل هاتون Hutton في عام ١٦٨٥ إلى أن الصخور الموجودة في عصر سابق بعد تكوينها تعرض لعوامل داخلية وخارجية مؤثرة في القشرة الأرضية تكسبها صفات ومميزات معينة ، فإذا وجدت هذه الصفات والمميزات في صخور حديثة أمكن إستنتاج أن الصخور القديمة تعرضت لعمليات مشابهة ومماثلة لتلك الصخور الحديثة أى أن الحاضر مفتاح للماضى

Present is the key to the past,

السلم الزمني للأرض Earth chronology

ترتيب الحوادث التاريخية ترتيباً زمنياً فإنه لا بد من عمل سلم زمني ينسب إليه الحوادث التاريخية. وكذا الحال في الجيولوجيا التاريخية فلا بد من ترتيب الحوادث الجيولوجية وتنسبها وذلك بدراسة الصخور دراسة مستفيضة وخاصة الصخور الرسوبية للتعرف على الظروف التي أدت إلى تكوينها والعوامل التي أثرت عليها. ومن المعروف أن الطبقات الرسوبية تتميز بوجودها في طبقات متعاقبة — طبقة تلو الأخرى — فإنون تعاقب الطبقات الذي إعدى إليه العالم الإنجليزي «وليم سميث» وينص هذا القانون على أنه في أي تتابع طبقي في الصخور الرسوبية فإن كل طبقة تكون أحدث في تكوينها مما تحتها — أي أن الترسيب يبدأ بالطبقات القديمة ثم تراص الطبقات الواحدة تلو الأخرى هذا إذا لم يحدث أن تعرض تلك الطبقات إلى أي من الحركات الأرضية والتي تغير من وضعها بعد الترسيب (مثل الطي) .

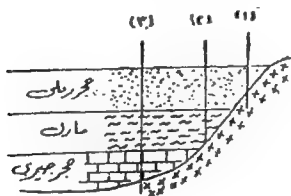
ومن المعروف أن لكل طبقة من الطبقات الرسوبية فترة ترسيب زمنية محددة فإذا أخذنا مثلاً لمنطقة ما ووجدنا هذه المنطقة تتابع طبقي له نفس الترتيب ونفس السمك والصفات الصخرية لأمكننا القول بأن ظروف الترسيب في المنطقة الأولى هو نفسه في المنطقة الثانية وهكذا في منطقة ثالثة ورابعة . ونسعى عملية ربط الطبقات المتشابهة في السمك والصفات الصخرية (اللون والنتيج ... الخ) بعملية التوافق أو الترابط الجيولوجي Lithologic Correlation لأننا اعتماداً أساساً على الصفات الصخرية وعلى ذلك فإن تعاقب الحوادث الجيولوجية في هذه المناطق المتوافقة حجريا واحداً ، أو بمعنى آخر أن السلم الزمني وسعد

ولنعمل مضاهاة أو سلم زمني على أساس العمقات الصخرية فانه يجب العذر وخصوصاً أننا نتعامل مع الصخور الرسوبية والتي تختلف عن بعضها إختلافاً شديداً من مكان لآخر .

ومن عيوب الطريقة الصخرية أو التوافق الجبري -

١ التخطي Over lap :

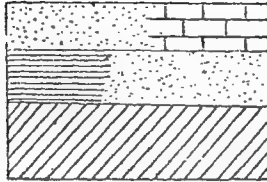
ويحدث هذا على حواف الأحواض الترسيبية حيث تتخطى كل طبقة ماتحتها من طبقات وذلك عند حدوث انخفاض لنسوب البر بالنسبة للماء .
فإذا اقتصر الدارس (الجيولوجي) على دراسة المقطع في الاتجاه (١) فانه بذلك لا يدخل في حسابه فترة الترسيب للمارل والحجر الجيري وإذا إقتصرت دراسته على المنطق (٢) فانه في هذه الحالة لم يدخل في حسابه فترة ترسيب الحجر الجيري وعلى ذلك لن يكون تاريخه الزمني لهذه المنطقة قيمة إلا في المقطع (٣) شكل (١١١) .



(شكل ١١١)

٣ - التغيرات الجانبية للصخور : Lateral variation

وحيث اننا في صدد حصة واحدة من جزء إلى آخر فتلا إذا تبعنا طبقة



الغير الجانبية للمخمر

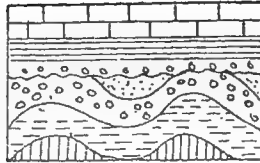
شكل (١١٢)

روئية وجدنا أنها تغير تدريجياً إلى طبقة طينية أو جيرية (شكل ١١٢) والسبب في ذلك أنه نتيجة عوامل التعرية فقد تمرى بعض الطبقات ويتبع ذلك تكوين وادى ثم ترسب بعد ذلك في هذا الوادى رواسب نهريه، ويجب على الجيولوجى أن يلاحظ التغيرات الجانبية بوضوح حتى لا يقع في أى شك أو قد يخطئه البعض ويفسر هذا التغير الجانبي أنه نتيجة لوجود فائق .

٣ — عدم التوافق *Unconformities*

وهو وجود مجموعتين من الصخور بينا سطح تعرية نتيجة لتوقف الترسيب بين المجموعتين لفترة زمنية معينة ويحدث عدم التوافق كما ذكرنا سابقاً نتيجة لترسيب مجموعة من الطبقات ثم انحسار البحر عن هذه الطبقات نتيجة لتأثير حركة أرضية (بانية للقارات) وتعرض هذه الطبقات بعد ذلك لعوامل التعرية التي تزيح جزءاً منها مكونة بذلك سطح التعرية . وبحركة أرضية أخرى يغطي البحر هذه الطبقات مرة أخرى ثم يرسيب المجموعة الأخرى من الصخور . (شكل ١١٣) . يجب على الجيولوجى أن يلاحظ عدم التوافق

كوبالوميرات
بعض التمسية



شكل (١١٣)

حتى لا يقع في خطأ عدم حسب فترة توقف الترسيب والتي تعرضت خلالها
المختبر لحوادث التعرية .

كما سبق يتضح أنه يجب البحث عن طريقة أخرى لعمل السلم الجيولوجي .
وقد استعان الجيولوجيون بعلم التمسية *Stratigraphy* وهو دراسة بقايا
الكائنات الحية من أجزاء صلبة مثل العظام والرخام والجرانوليت وعظام الحيوانات
القشادية أو آثار وإفرازات الكائن الحي .

وعنالك من الحفريات ما يسمى بالحفريات المرشدة أو *Index fossils*
والتي تتميز بعمر جيولوجي قصير وإنتشار جغرافي واسع وهذه الحفريات
المرشدة يستعان بها في وضع السلم الزمني وتنسيبه إلى أحقاب ومصور وذلك
بتتبع التغيرات في نوع ما أو عدة أنواع من هذه الحفريات .

ومن المعروف أن المملكة الحيوانية تنقسم إلى :

١ - اللافقاريات *invertebrata* وتشمل

١ - الحيوانات وحيدة الخلية *Protozoa* .

٢ - الأسنجةيات *Porifera* .

٣ - الجوفعيات Coelenterata

٤ - الديدان Vermes

٥ - الشوكيات الجلدية Echinodermata

٦ - الأذرعدييات Brachiopoda

٧ - الرخويات Mollusca

وتشمل : القواقع Gastropoda والرأسقدميات Cephalopoda والمحارات
Lamellibranchiata

٨ - المفصليات الأقدام Arthropoda

٩ - الفقاريات Vertebrata وتشمل :

١ - الأسماك Fishes

٢ - البرمائيات Amphibia

٣ - الزواحف Reptilia

- الطيور Birds

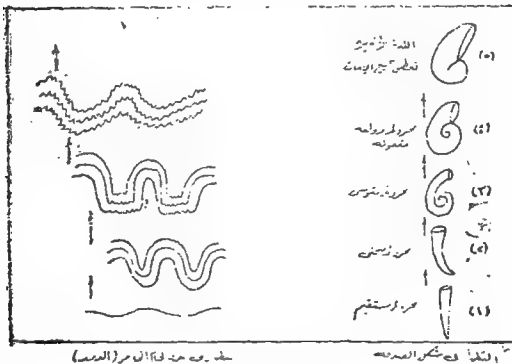
٥ - الثدييات Mammals

الطريقة الخفية (الباليونتولوجية):

لو درسنا مثال في مجموعة الرخويات - فصيلة الرأسقدميات يسمى
Tutillus فهو يتولى لإستخدامه في عمل السلم الزمني ولاحظنا التطور فيها
فإننا نجد أن الحيوان يعطى لنفسه صدفه مخروطية الشكل وكلما كبر الحيوان
أضاف جزءاً آخر إلى هذا المخروط وانتقل إلى هذا الجزء تاركاً وراءه خط
أو قاطع يميز به الجزء الخلفي ويترك هذا الحاجز أثره على حوائط المخروط

الداخلية على هيئة خط يسمى خط لحام الحماجر Septal suture . وهناك
تفصيلين واضحين في

١ - شكل الصدفة في الطبقات الرسوبية المتتالية ب - شكل خط لحام
الحماجر ١ - شكل الصدفة : إذا تبعا التغير في شكل الصدفة نجدها على شكل
مخروط مستقيم (١) وذلك في الطبقات السفلى (القديمة) أما إذا انحصرت
الصدفة في طبقات أعلى (أحدث) وجدنا أن الصدفة بدأت في النفوس بعض
الشيء (٢) ثم يزداد تقوسها أكثر حتى تصبح الصدفة على هيئة مخروط ذو
لثة مفتوحة (٣) ثم صدفة محكمة اللثة (٤) حتى تحمل صدفة الحيوان التي لفت
لها محكما بحيث تغطي اللثة الأخيرة كل اللغات السابقة (٥) شكل (١١٤)



شكل (١١٤)

ب — خط لحام الحاجز Septal suture : لقد وجد أنه بجانب الثغرات في شكل الصدفة على مر العصور الجيولوجية فإن هناك تغيراً أو تطوراً آخر في خط لحام الحاجز (الفرز) . ففي الطبقات السفلى نجد أن أصداف الحيوان لها خط لحام حاجز به تموج بسيط يسمى خط لحام حاجز وتيلي *Nautilitic septa* . وفي الطبقات الأعلى يصبح خط لحام الحاجز أكثر ترجيحاً ويسمى جونيائي *Goniatic* ويتبع الطبقات إخفت أنواع النيوتيلي وتبع بعض أصداف ذات حواجز فونيلية ولكن ظهرت مجموعة حديثة لها خط لحام يسمى بخط اللحام السيرائتي *Ceratic* حيث تظهر فيها ترجحات في الجزء الخلفي من خط الحواجز . وفي طبقات أعلى وأحدث بكثير من السابق أخفت الأصداف ذات الخط السيرائتي وكثرت أصدافها لها خط لحام حاجز أكثر تعقيداً ويسمى بالخط الأيوني *Am onitic* وبعد ذلك نجد أن الأصداف المعقدة لم يصبح لها أثر في الطبقات الحديثة حيث يدل ذلك على إنقراضها (باستثناء عدد قليل من أصداف ذات خطوط نيوتيلية بدائية) شكل (١١٤) .

ومن هذا المثال يضح أنه من تطور الحيوان وإنقراضه بعد ذلك في فترة زمنية تقدر بملايين السنين يمكن تقسيم هذه الفترة إلى عصور على أساس فترة التغير في شكل الصدفة وشكل خط اللحام . وقد وجد أن هذا التغير وجد بنفس التابع في جميع أجزاء الكرة الأرضية . وعلى ذلك فياستمال هذه الثغرات أتين عمل سلم زمني ينطبق على جميع أجزاء الكرة الأرضية (بعكس الطريق المعكروية المحدودة) .

من التاريخ الجيولوجى للكورة الأرضية وكما يتضح من دراسة المعثور
الرسوية وما تحويه من حفريات فان أى . تغير فى ظروف البيئة الطبيعية
يتبعه تغير من الناحية العضوية للحيوان والنبات وذلك كى يلائم أو يتكيف
للبيئة الجديدة Adaptation وتتم الجيولوجيا التاريخية بدراسة هذا المنطق سواء
من الناحية العضوية (الحيوانات والنباتات) أو من الناحية الغير عضوية
(البيئة) والذي يحدث للخرة الأرضية منذ نشأتها حتى عصرنا هذا . والأمثلة
على التطور كثيرة منها :

١ — الحصان المعروف اليوم به حافر (أصبع واحد) قد إنحدر عن
الحصان القديم (ذو الستة أصابع) .

٢ — الفيل العادى إنحدر من الماموث Mammoth (الفيل القديم) .

٣ — الإنسان الحالى بجميع أجناسه الحالية بدأ متطورا عن الإنسان
القديم أو إنسان العصر الحجري .

ومنذ بدء التاريخ الجيولوجى فان الحياة تطورت بأكملها حيث بدأت
بصورة بدائية جدا كالنباتات وحيدة الخلية وشوكات الاسفنج ثم بدأت
اللافقاريات البسيطة فى الظهور فى أوائل الحقب القديم والفقاريات البدائية
كالاسماك البدائية فى متبعفه وفى أواخر هذا الحقب ظهرت البرمائيات متطورة
من الأسماك . وفى الحقب المتوسط سادت الزواحف . أما فى الحقب الحديث
فظهرت الطيور والتدييات متطورة من الزواحف حتى بداية الحقب الرابع
المصر البلايستوسيني فظهر الإنسان

الأدلة على التطور : Evidences of Evolution . من أهم الأدلة على التطور ما يلي :

١- الدليل الجيولوجي Geological evidence : إذا تتبعنا التغيرات التي تطرأ على الفصائل والمجموعات الخافقة على مر التاريخ الجيولوجي نجد أن هناك تطورا . حيث تسمح الأجناس المختلفة أكثر تعقيدا على مر المصهور في الناحية البيولوجية ويكون في العادة التطور تقدما Progressive وقد يحدث أن يتعكس التطور أحيانا ويسمى التطور تقوصيا Retrogressive .

٢- الدليل التشريحي Anatomical Evid. : إن التشابه التشريحي في هيكل وعظام وأعضاء مجموعة الحيوانات الأوائل التي تحتوى على الأنواع المختلفة من الفردة بالاضافة إلى الإنسان يعتبر دليل على أن هذه المجموعة للتشابه قد انحدرت متطورة من أصل أقل منها في التطور .

٣- الدليل الجنيني Embryological evidences : يبدأ تاريخ حياة الكائن الحي بخلية واحدة ثم تمر في سلسلة من التطور حتى مرحلة البلوغ وهذه السلسلة المتابعة من التغيرات في حياة الفرد Ontogeny تركز التغيرات التي حدثت في تاريخ حياة الجنس لهذا الفرد Phylogeny أى أن تاريخ حياة الفرد يكرر تاريخ حياة جنسه Ontogeny Recapitulate phylogeny . ويسمى هذا القانون باسم Law of Recapitulation .

أسباب حدوث التطور : Causes of Evolution

١- التغيرات الوراثية Heriditable Variation : وهى إختلافات طفيفة بين أفراد النوع الواحد وقد تظهر نتيجة أمتزاجات تحدث في الخلايا الجنسية

للكائنات والتي قد تؤدي بعد فترة من الزمن إلى ظهور أنواع جديدة من هذه الكائنات .

٢ - الانتقاء الطبيعي Natural Selection : من قوانين الطبيعة أن البقاء للأصلح ولذلك فإنه لا يبقى أو يعيش إلا النبات والحيوان الذين يستطيع أن يتكيف ويحمل ظروف البيئة التي يعيش فيها . ولذلك فقد يطرأ على الفرد تغيرات يكتبها لكي تساعد على المنافسة من أجل البقاء . وإذا أمكن توريث هذه التغيرات فإن السلالات الجديدة تصبح أكثر تكيفا لظروف المعيشة الصعبة وتصبح أصح للبقاء .

٣ - تأثير البيئة Influence of Environment : قد يحدث التطور نتيجة للتغير الشامل في البيئة فقد تصبح البيئة بمرية بعد أن كانت قارية أو العكس أو قد يغطي الجليد أو العنقوش البركانية مساحات من الأرض . ويقابل هذه التغيرات الطبيعية للبيئة تغيرات أخرى في النباتات والحيوانات نتيجة لتغير المناخ ومصدر الطعام . ومادة قد يصحب تغير البيئة تغيرات وراثية يمكن للحيوان والنبات من التكيف للظروف الجديدة وإلا فصيها الهلاك أو الانقراض .

اقسام التاريخ الجيولوجي للكرة الأرضية

أمكن تقسيم التاريخ الجيولوجي للكرة الأرضية منذ ظهور الأحياء حتى الآن إلى ثلاثة أجيال بالإضافة إلى حقبة ما قبل الحياة (منذ بدء تكون الأرض من الشمس)

المعجم

عصر ما قبل

الحضارة

Pre-Cambrian

عصر الحياة القديمة

Paleozoic Era

" "

عصر الحياة الأولى

Primary

المعجم

البروزوي

عصر الأركي

عصر البروزوي

البروزوي

البروزوي

البروزوي

البروزوي

البروزوي

البروزوي

الحياة المبكرة

عصر ما قبل

البروزوي

البروزوي

البروزوي

البروزوي

البروزوي

البروزوي

البروزوي

البروزوي

الحياة المبكرة

المعصور

الحقب

الزواحف

Triassic

التراس

الطباشيري (الكربوناري) Cretaceous

الجوراس

Jurassic

Triassic

أورالاني Secondary Era

حقب الحياة
الترسلة
Nesozic Era

الإنسان المعاصر

Miocene

الحديث

الطباشيري

Pleistocene

البلاتوسيني

الإنسان المعاصر

Pliocene

المعصر البلاتوسيني

الإنسان القديم

Miocene

المعصر المايوسيني

الإنسان القديم

Oligocene

المعصر الأوليجوسيني

الإنسان القديم

Eocene

المعصر الإيوسيني

الزمرية

Paleocene

المعصر الباليوسيني

أولاً : حقب ما قبل الكامبري Pre-Cambrian Era

تكاد تنعدم الحياة فيه حيث أنه لم يوجد أى دليل مباشر على وجودها. والسبب في ذلك الظروف الطبيعية التي لم تكن مناسبة لوجود الحياة على الأرض حيث كانت معظم صخورها ملتصقة وفي حالة منصهرة.

ثانياً: تحقب الحياة القديمة (الحقب الأول) Palaeozoic Era

ويتميز بوجود الحفريات اللائقارية مثل مثلثة القصوص Triobita والمرجيات. وقد تميز العصر الكريوني بكثرة الغابات والنباتات الأولية ولذلك تكون النجم الذي وجد في طبقات هذا العصر. وفي منتصف الحقب الباليوزي ظهرت الأسماك، أما في أواخره فقد ظهرت الحيوانات البرمائية.

ثالثاً : حقب الحياة المتوسطة Mesozoic Era :

وفيه سادت الزواحف ذات الأحجام الكبيرة مثل حيوان الديناصور ، كما تميز بانتشار الجيوانات اللائقارية. وفي منتصفه ظهرت الطيور كما بدأت الثدييات في الظهور متطورة من الزواحف.

رابعاً : حقب الحياة الحديث Cenozoic Era وينقسم إلى :

١ - الحقب الثالث Tertiary : وفيه سادت الثدييات والنباتات المزهرة وزاد تطورها.

٢ - الحقب الرابع Quaternary : وهو الذي نعيش فيه اليوم وفي

الحلقات الترسيبية في تاريخ مصر الطبقي Sedimentary Cycles

(١) حلقة الباليوزوى - الميزوزوى (التوبية) Palaeozoic Cyde

(Nubian Cycle) وتمثل هذه الحلقة أساسا بالصخور الرملية والقرارية أو الشاطئية . وقد بدأت هذه الحلقة وانتهت في أماكن مختلفة . وقد تخللها بعض حركات للبحر ممثلة ببعض الصخور الرسوبية البحرية المحتوية على حفريات من الكبرى - الكريوتى - الترياس - الجورى - والطباشيرى الأسفل .

(٢) حلقة ما قبل الميوسين : Pre-Miocene Cycle

وتتمثلها رواسب بحرية كثيرة وكبيرة السمك من الحجر الجيري لمعصور الطباشيرى الأوسط والعلى والايوسين .

(٣) حلقة ما بعد الأوليجوسين Post Oligocene Cycle

وتتمثل في الصخور المتفككة المختلفة من الرواسب الميوسينية في الشمال ورواسب الجبس والأنهدرايت في الشرق أما العصر البلايوسينى فيتمثل بالرواسب الجيرية واليمنية .

موجز لتاريخ مصر الجيولوجى

توجد في كل مكان في صحارينا المختلفة تراكيب ورواسب بحرية بها حفريات حيوانات بحرية وهذا يدل على أن البحر تقدم من الشمال ولفى على مصر عدة مرات خلال المعصور الجيولوجية الفائرة . نتيجة لحدوث حركات أرضية عمودية متعاقبة . وفي كل مرة كان البحر يرسب طبقات عتس من

المعمور ثم يسحب راجعا لكانه الأصلي ، ثم يتقدم ثانية مرسبا طبقات عصر آخر وهكذا .

وهناك معمور لم يتقدم البحر على الأراضي المصرية فكانت رواسبها كلها قارية . وفيما يلي موجز لطبقات كل عصر .

الحقب البريكامبرى Pre-Cambrian

توجد صخور البريكامبرى في مصر على شكل سلاسل جبلية وتمثل ٢٠٪ من المساحة السطحية لمصر . وتمتد هذه الصخور بالصحراء الشرقية من حدود السودان جنوبا حتى خط عرض ٤٠° شمالا . وكذلك في التلث الجنوبي لشبه جزيرة سيناء وبعض المناطق الجنوبية في الصحراء الغربية وكذلك في منطقة أسوان حيث تترى مجرى النيل . ولقد حظى هذا الحقب بدراسة مستفيضة فم يختص بتصنيف هذه الصخور . وفيما يلي أحد هذه التقسيمات .

١ (الأقدم) النيس والشت القديمة والميلورة ومن أشهر هذه الصخور جرانيت أسوان .

٢ - السربنتين والدوليريت .

٣ - اردواز وشت وكونجولوميرات .

٤ - صخور بركانية وبورفيريت .

٥ - دابوريت وجابرو .

٦ - جرانيت وردى ورمادى وجرانودابوريت .

٧ - (الأحدث) عروق الدوليريت والتمليت .

وأم المعادن الاقتصادية فتتبعه عصر البريكامبرى على

- ١ - رواسب الحديد المتحولة (جنوب القصير والمجراه الشرقية) .
- ٢ - رواسب الكروميت بصخور السرينتين بالبراميه باله مجراه الشرقية .
- ٣ - الاسبستوس بالحفائيت .
- ٤ - الزمرد . جنوب المجراه الشرقية .
- - عروق المرور الحاملة للقصدير والتنجستين والمولبدنوم وتوجد في أما كن متفرقة في المجراه الشرقية .
- ٦ - عروق المرور الحاملة لمعدن الذهب بالمجراه الشرقية .

حقب الحياة القديمة (الباليوزوى)

لقد ظل القطر المصري في هذا الحقب معرضا لعمال التعرية فلم يتقدم البحر ليغمره إلا قليلا، وتستغل أقدم صخور هذا الحقب بصخور مصر الكامبري والتي وجدت تحت السطح في منطقة (جب عافه في الجزء الشمالى من المجراه الغربية ويوجد به حفريات بحرية وقد وجدت صخور متشابهة في أما كن أخرى ولكن بدون حفريات .

وفي عيون موسى وجدت صخور تابعة للعصر الديفونى . وقد وجدت رواسب بحرية بعد ذلك تنتمى إلى العصر النحوى وكان ذلك مقصورا على المساحات الصغيرة الآتية :

(١) أواسط شبه جزيرة سيناء وفوق قمم جبال الجرانيت جنوب غرب شبه الجزيرة عند منطقة أم بيمه شرق سيناء وأبو زعيمه على خليج السويس وصخورها عبارة عن :

• حجر رملى علوى ١٥٠ متر .

•

•

•

•

•

•

العجبر الجري ٤٠ مترها حفريات من المرجان.

الحجر الرملي ١٣٠ متر غالية من الحفريات .

(٢) وادي عربة بالمعجرات الشرقية قرب خايج السويس وتشبه الطبقات

ففي هذه المنطقة مثلتها في شبه جزيرة سيناء .

وقد وجدت معادن اقتصادية في هذه الصخور في سيناء مثل الحديد والمنجنيز وكذلك توجد كيان بسيطة من معادن النحاس والركواز في الحجر الرملي على هيئة عروق صغيرة .

وتم توحيد صحور يسمى إلى العصر البري حتى الآن ولكن ربما يتمثل هذا العصر بحجر الرمل الخالي من الحفريات . ويدون أن الارتفع التدريجي للأرض الذي بدأ مع نهاية العصر التيمني استمر خلال العصر البري وكل الأراضي المصرية في خلال هذا الزمن كانت غير مقطاه بالماء . وقد وجد في منطقة خليج السويس رسوبيات تنتمي إلى عصور ما قبل الكريون في عدد من الآبار مثل الصحور الرملية للسمكة التي توجد تحت صحور العصر الكريوني في النردقة .

حقبة الحياة الوسطى Mesozoic

توجد رواسب هذا الحقب مثله في مصر ابتداء من العصر النوبي حتى العصر الطشيري و"كثرة إنتشار" هي رواسب العصر الطباشيري بأكملها هي رواسب العصر النوبي

مسرح التمثيل، ص. ۵۵. يوجد مثلاً مصغور سدكها حوالي ۱۵.

[illegible]

وتوجد هذه الرواسب البحرية في منطقة « عريف الناقة » على شكل قبو يتأثر بفوالق تحتوي على حجر جيري في الغالب مغطى بالفضا والمارل والحجر الرمل وتحتوى على حفريات كثيرة . وقد وجد أيضا رواسب هذا العصر تحت السطح ، في بعض آبار البترول مثل بئر جبل عتاقة رقم (١) الحمراء رقم (١) وعيون موسى :

(٢) العصر الجوراسى Jurassic Age :

وتوجد الصخور المثلثة لهذا العصر على السطح في منطقتين : (١) شمال سيناء في جبل المغارة وريزان عيثة وجبل المنشرح (٢) في الصحراء الشرقية في شمال جبل الجلالة البحرية والسخنة ورأس العبد قرب شاطئ خليج السويس .

ويمثل رواسب هذا العصر من الصخور في طبقات من الحجر الرملى تغطاها طبقات من الحجر الجيري والطفل وتحتوى على حفريات كثيرة مماثلة للحفريات التي وجدت في التكوين الجوارى بأوربا .

وقد وجد أيضا رواسب لهذا العصر تحت السطح في أماكن كثيرة لشمال ووسط سيناء وخليج السويس وفي الصحراء الغربية . وقد أمكن استنتاج بعض الظواهر التي حدثت خلال هذا العصر منها أن هذه الرواسب توضح أنها تكونت في بحر متبادل بين العمق والصفو . وأن هذا البحر تقوم وانحصر على مرات متقطعة على الأراضي المصرية : ولقد وصل تقدم البحر على فترات متقطعة في الشمال حتى وصل الجلالة حيث تمثل أقصى تقدم للبحر ناحية الجنوب .

(٣) العصر الطباشيرى Cretaceous Age

وتغطي صخور هذا العصر حوالى ٣١٪ من مساحة الأراضي المصرية وتعتبر من أهم التكوينات الجيولوجية في مصر . وتظهر على السطح في مساحات واسعة بالصحراء على جانبي وادي النيل والجزء الشمالي لشبه جزيرة سيناء والصحراء الشرقية والغربية .

وتتكون الطبقات السلي في معظم الأماكن بمصر من الحجر الرملي النوبي وهي عبارة عن طبقات من الحجر الرملي تعلو عادة الصخور التارية والمتحولة القديمة (الديكامبرى) في شمال السودان والجزء الجنوبي من القطر المصري وحول هذه الصخور القديمة في الصحراء الشرقية كما أنه تظهر فوقها في شبه جزيرة سيناء . وتدل صفات هذا الحجر الرملي على أنه تكوين قارى ناتج عن تفتيت الصخور التارية القديمة . وهذا خال من الحفريات إلا من بعض أوراق الشجر التي يستدل على نعيته للعصر الطباشيرى ولكن في كثير من الأماكن لا توجد به حفريات بالمرء ولذلك فإن عمر هذا التكوين يمكن أن يتبع أى عصر بعد العصر الكريوى وحتى الطباشيرى وقد تم حديثا اكتشاف بعض المناطق التي توجد بها رواسب بحرية تنتمى إلى هذا العصر .

أما الطبقات العليا فتتكون من الطين والصخور الجيرية والطباشيرية غنية بحفرياتها من القنافذ البحرية والحشرات البحرية . وهذه الطبقات تعلو الحجر الرملي النوبي وتمتد من الواحات الداخلية بالصحراء الغربية إلى وادي النيل قرب إدفوا ، ثم ، في الصحراء الشرقية إلى البحر الأحمر . أما في شبه جزيرة سيناء فتتد في مساحات واسعة هضمة التية وتظهر هذه الطبقات على هيئة قبو عند جبل أبو رواش شمال أهرام الجيزة

حقب الحياة الحديثة : Cenozoic Era

القسم الثلاثي Tertiary

(١) العصر الإيوسيني Eocene Age

وتمثل صخور هذا العصر ١٩٪ من الأراضي المصرية ويبلغ سمكها حوالى أكثر من ١٠٠ متر وتوجد صخور هذا العصر بمتدة على جانبي وادى النيل من القاهرة حتى قنا ومنها تتكون الهضاب المتسعة فى الجزء الشمالى من الصحراء الغربية والشرقية وشبه جزيرة سيناء .

والطبقات العليا وهى عبارة عن طبقات طينية رقيقة تتخللها طبقات رملية وطبقاتية وتحتوى جميعها على أنواع مختلفة من الحفريات المحارية . وتتلب فى هذه الطبقات أن تكون صفراء اللون أو حمراء اللون نتيجة لاختلاطها بالغرة (أكاسيد الحديد) وتوجد هذه الطبقات فى الأجزاء العليا من جبل المقطم الذى يرى أسفله ناصع البياض وقته سمراء اللون مائلة للحمراء .

ومن دراسة صخور التكوين الإيوسيني والحفريات الموجودة بها استنتج أن طبقاته السفلى ، تكونت فى بحر عميقة بين «طبقات العليا وهى صخور رملية أو طينية تحتوى على حفريات تدل على رسوبها قرب الشواطىء . ويفهم من ذلك أنه كانت هناك حركة أرضية بطيئة أدت إلى رفع قاع البحر تدريجيا وباستمرار هذه الحركة تراجع البحر شمالا وترك الأراضي المصرية جافة فى العصر الثالث (الأوليجوسين) .

(ب) العصر الأوليجوسيني Oligocene Age

وصخور هذا العصر عبارة عن جص ورمل ترسبت على شواطىء

البحيرات والأنهار والمستنقعات الداخليه وقد تحتوى بعض هذه الرواسب على بقايا أشجار متحجرة وبثائق عوامل التعرية تنقل الرمال وتبقى الاشجار المتحجرة ملقاة على السطح كما فى الغابات المتحجرة على بعد بضعة كيلومترات شرقى العباسية حيث ترى كثيرا من سيقان الأشجار محتفظة بتركيب اليفها الدقيق حتى أنها لتشبه الخشب فى شكلها الخارجى إلا أنها مركبة من مادة سليسية بدلا من مادتها الخشبية الأصلية . وقد حلت السيلكا محل مادة الخشب أثناء عملية الإحلال . وانقذت المياه المعدنية السليسية إلى السطح نتيجة لتفجير عيون حارة أثناء النشاط البركانى الذى حدث فى نهاية هذا العصر وأدى إلى تكوين الطفوح البركانية المعروفة عند أبى زعبل .

وتوجد راسب غنية بالحديد (هيماتيت) فى الواحات البحرية بالمعمرات الغربية ونجت هذه عن الترسيب والاحلال بمخور الحجر الجيرى والعمد ليس بالناكيد أوليجوسين ولكنه على العموم فى الفترة ما بين الأوليجوسين والميوسين .

(ح) العصر الميوسينى : Miocene Age

تكونت صخور هذا العصر أثناء هبوط الجزء الشمالى من الأرض المصرية فصرتها مياه البحر فى ذلك العصر . وهذه التكوين الميوسينية ممتدة فى شمال الصحراء الغربية من البحر الأبيض المتوسط حتى حافة المنخفض الكبير الذى تقع فيه واحات سيوه ومنخفض القطارة وهى طبقات من أحجار جيرية وطفل غنية بمحارها .

يتميز هذا العصر عن سائر العصور من القاهرة

رائسوس في حبيح سويس . وكذلك متحجر سويس . حبيح سموس
والبحر الأحمر إلا أنها في اجزاء اجنوبي من هذه منطقة لأحياء تختلف
في تركيبها عما وصفنا لتكثر بها طبقات الجبس والطفل وفي بعض الاماكن
يصحب الجبس طبقات صميكة من ملح الطعام . وفي هذا دليل على إنتشار
بحيرات مالحة على إنصال بالبحر الأحمر من عصر الميوسين .

(٥) العصر البليوسيني : Pliocene Age

توجد تكوين هذا العصر في وادى النيل عند سمح الغضبتين اللتين تمدانه
على الجانبين وذلك من القاهرة حتى التشن وصخوره عبارة عن رواسب محلية
شاطئية بها بعض الحفريات وتدل على أن وادى النيل بحالته المعروفة الآن قد
تكون وصعدت فيه مياه البحر كخليج ضيق طويل بلغ جنوبا حتى مركز
التشن على الأقل . ويتلو ذلك رواسب أخرى تدل صفتها على أنها تكونت
في بحيرات عذبة مما يدل على أنه قبل إنتهاء هذا العصر كان البحر قد انحسر
عن الوادى فتحول إلى سلسلة من البحيرات وتوجد رواسب البليوسين في
وادى التطرون بالصحراء الغربية وكذلك على شواطئ البحر الأحمر .

(٦) القسم الرابعي Quaternary

١ - العصر البليوستوسيني Pleistocene Age

تدل الظواهر على أن هذا العصر في أوروبا (عصر الجليد) كان بقباله
في مصر عصر أمطار شديدة ، ذلك لأن تكوين البليوستوسين هنا دائما عبارة
عن رواسب من رمال وحصى مستديرة بمعقولة تدل حالها على أنها تكونت
في مياه جاربه . ومن التكوين البليوستوسيني أيضا المعخور الجبسية البطروخية

Oolitic Limestones التي تكون سلسلة من أفتلان الممتدة غرب الاسكندرية حتى السلام . وهي مكونة من نماسك رمان بجسيمه تكونت عنى شكل كسبان ممتدة على طول الشاطئ . كذلك يربسج تكون الشواطىء والشعاب المرجانية المرفوعة .

ب - العصر الحديث Recent

ويطلق هذا الاسم على الرواسب التي لاتزال تتكون فى الوقت الحاضر .

تقدير عمر الصغفور والأرض

من المعروف أن العمليات الجيولوجية المختلفة حقا بطيئة العمل ولكن الزمن الجيولوجى طويل جدا ومن هذا كان لهذه العمليات الجيولوجية أثرها الفعال فى تشكيل سطح الأرض (الجبال - الوديان - أخصاب - الأنهار - والبحيرات) .

ومن الطرق التي إستخدامها الجيولوجيون فى تقدير عمر الأرض :-

(١) حساب ملوحة المحيطات Salinity of oceans فإذا فرض أن المحيطات

كانت منذ بدء تكوينها ذات مياه حلوة وأن سبب ملوحتها الحالية هو الأملاح التي تحملها الأنهار . فأننا نجد أن عمر المحيطات الحالية يتراوح بين ٩٠ مليون سنة إلى ٩٠٠ مليون سنة وذلك حسب المعادلة :

الصوديوم فى المحيط

عمر الأرض = كمية الصوديوم التي تحملها الأنهار إلى المحيطات سنويا

(٢) الترسيب Deposition يمكن إتخاذ سرعة الترسيب أو زمن ترسيب

قطاع متتابع من الطبقات الرسوبية كقياس لمعرفة عمر الأرض . فإذا كانت الرواسب نتيجة لترسيب المستمر بنفس السرعة التي يترسب بها طبقات طمي

شهر النيل (١ مم كل عام) فان عمر الطبقات الرسوبية منذ فجر الكيمبري (حتى الآن يقدر بحوالى ١٢ مليون سنة وهذا أقل بكثير من عمر الأرض الحقيقي . والسبب في ذلك وجود فترات عدم ترسيب حدث فيها تعرية وتآكل لسطح الطبقات والمغمور .

(٣) التآكل : Erosion إذا أخذ في الاعتبار سطح التعرية الكبير بمصرفة زمن التعرية . فانه لإنتاج سطح تعرية كبير مساحته ٣ مليون ميل مربع يجب أن تمر فترة من الزمن طولها ٩ مليون سنة .

(٤) اليورانيوم والعناصر المشعة في المعادن :

Uranium and Radio active elements in minerals

ويعبر استخدام المعادن المشعة من أنجح الطرق لتقدير الزمن الذى مضى منذ تبلور هذه المعادن من الحجر والمعرف أن الصخور النارية لا تحتوى على جزيئات ولكنها تحتوى على معادن مشعة . وعلمية الإشعاع الفيزيائية عملية طبيعية يحدث فيها تفككت العناصر المشعة أو التغير مستقره مثل عنصرى اليورانيوم والثوريوم . إلى عناصر أخرى ويكون في النهاية الهليوم وفطر الرصاص . وتفتت هذه العناصر المشعة بمعدل ثابت على مر الزمن لا يؤثر فيها شيئا .

فإذا أخذنا صخرًا ناريًا به معدن يحتوى على يورانيوم وحلثناه وحسبنا نسبة اليورانيوم الباقي فيه إلى نسبة الرصاص الناتج ومعه الثوريوم أمكننا تقدير الزمن الذى مضى على تكوين هذه الصخور والمعادن . أنه أن الزمن الذى تستغرقه لتحويل تماما من ذرة يورانيوم نشطة إلى ذرة رصاص خامل

$$\text{العمر} = \frac{\text{اليورانيوم} + \text{ثوريوم}}{\text{الرصاص}} \times ٧٦٠٠ \times ١٠ \text{ سنة}$$

(٧٦٠٠ مليون سنة عمر ذرة اليورانيوم)

فہرست

1 200 200 200 200 200 200 200 200 200

الباب الأول

٢٠	...	...	...	...	...	نشأة الأرض
٢١	...	...	...	...	...	أغلفة الكرة الأرضية
٢٢	...	...	...	...	...	المكونات الأساسية للغلاف المعغري

الباب الثاني

٣٣	...	...	...	...	...	اليورات
٣٣	...	...	...	...	...	خواص البلورة
٣٧	...	...	...	...	...	التماثل البلورى
٤٠	...	...	...	...	...	المحاور البلورية
٤٦	...	...	...	...	...	المعادن
٤٧	...	...	...	...	...	الخواص الطبيعية للمعادن
٦٤	...	...	...	...	...	التركيب الكيميائى للمعادن
٦٧	...	...	...	...	...	الكيمياء البلورية
٦٨	...	...	...	...	...	تصنيف المعادن
٨٠	...	...	...	...	...	الرواسب المعدنية

الباب الثالث

المصنوع ٩٧
أولاً: المصنوع التارئة ٩٨

الصلبة	
٩٩	الصخور الجوية
١٠٠	الصخور تحت سطحية
١٠٣	الصخور السطحية أو البركانية
١٠٧	التركيب المعدني للصخور النارية
١٠٩	وصف بعض الصخور النارية
١١٤	ثانياً : الصخور الرسوبية
١١٦	الصخور الرسوبية ميكانيكية النشأة
١٢٠	الصخور الرسوبية الكيميائية النشأة
١٢٤	الصخور الرسوبية العضوية
١٣٠	ثالثاً : الصخور المتحولة
١٣١	التحول الحرارى (التماس)
١٣٤	التحول الإقليمي - الدباميكى (التحول الضغطى الحرارى)

الباب الرابع

١٤٠	البنية (التركيب جيولوجية)
١٤٢	عدم التوافق
١٤٥	الطبقات
١٥٢	القواطع ، الصدوع
١٥٩	المساحيق
١٦٢	النواحي الاقتصادية للبيات الجيولوجية
١٦٣	توازن القشرة الأرضية
١٦٦	الحركات الأرضية

ملحة

الجب الخامس

١٨٥	...	...	...	...	الجيولوجيا الطبيعية أو الديناميكية
١٨٥	...	...	...	...	مقدمة
١٨٦	...	...	..	...	العوامل الخارجية المؤثرة في القشرة الأرضية
١٨٩	...	...	...	...	عملية التجوية
١٩٠	...	...	...	...	التجوية الكيميائية
١٩٥	...	...	...	...	تبات المعادن والتجوية
١٩٨	...	...	...	...	التجوية والمناطق المناخية
٢٠٣	...	...	...	...	نواتج التجوية
٢٠٦	...	...	...	...	تكوين التربة
٢١٩	...	...	...	...	التحت
٢٢٨	..	..	...	...	الظواهر الطبوغرافية الناتجة من عمل الأنهار
٢٣٥	...	...	...	...	المياه الجوفية
٢٤٦	...	...	..	...	العوامل الداخلية المؤثرة في القشرة الأرضية
٢٤٧	...	..	..	...	الحركات الأرضية
٢٤٧	..	..	..	..	الحركات الأرضية السريعة
٢٤٧	..	..	..	..	الزلازل
٢٥٣	-	...	..	...	الحركات الأرضية البطيئة
٢٥٣	...	...	...	..	أنواع الحركات البطيئة
٢٥٤	..	...	...	...	أسباب الحركات الأرضية البطيئة
٢٥٨					النشاط البركاني

Bibliotheca Alexandrina



0399631